

博士論文

シンクロナイズドスイミングにおける
推進技術の動作特性と指導観点

平成 19 年度

筑波大学

本間 三和子

謝 辞

本論文をまとめるにあたり，終始一貫して温かくご指導，ご鞭撻を賜りました筑波大学教授 野村武男先生に心より感謝申し上げます。

学位論文審査の労をお執りくださいました筑波大学准教授 高木英樹先生，筑波大学准教授 藤井範久先生，筑波大学教授 田中喜代次先生，筑波大学准教授 白木仁先生に，心から感謝申し上げます。論文を精査していただいた上での適切な助言と有益な議論の場を提供して頂きましたことに，改めて謝意を表します。

そして，共同研究者として大きな力を貸してくださいました神戸大学准教授 本間正信先生には率直なところお礼の言葉が見つかりません。本間先生のお力添えなしには本論文が誕生することはなかったと思われます。本当にありがとうございました。

実験，分析に快く協力し，議論を通してさまざまなアイデアをくださいました国立スポーツ科学センター研究員の高松潤二さん，市川浩さん，元研究員の伊藤浩志さん，窪康之さん，筑波大学水泳研究室の大学院生の方々に，心より感謝申し上げます。

本論文にまとめた研究の一部は，財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会科学技術部におけるナショナルチーム科学サポート研究の支援を受けて実施されたものです。選手，コーチには，実験に協力していただいただけでなく，分析項目の選定や結果の解釈に関して有益なご助言とご示唆を賜りました。ここに記してシンクロ関係者の方々に謝意を表します。

最後に，研究を進めるにあたり，ご支援，ご協力を頂きながら，ここにお名前を記すことができなかった多くの方々に心より感謝申し上げます。この論文は本当に多くの方々に支えられてできあがったものであると改めて感じています。本論文の研究テーマは，シンクロナイズドスイミングに不可欠の推進技術である，スカーリングとエッグビーターキックの動作解析でした。なぜ脚や腕を水上に出して演技できるのか？―選手の時に抱いた疑問の一端に着手できたことが何よりも幸せです。そして，学位論文へのチャレンジを通して「何かを始めるのに遅すぎることはない」ということを改めて学ばせていただきました。このようなチャンスをいただきましたことに対し，関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

平成 20 年 3 月 本間三和子

目 次

表タイトル一覧	・ ・ ・ v
図タイトル一覧	・ ・ ・ viii
第 1 章 序論	・ ・ ・ 1
1.1 研究の背景	・ ・ ・ 1
1.2 研究の目的	・ ・ ・ 4
1.3 研究の意義	・ ・ ・ 4
1.4 技術的用語の定義	・ ・ ・ 5
1.4.1 推進技術, 推進力, 荷重負荷	・ ・ ・ 5
1.4.2 スカーリング, フラットスカル, サポートスカル	・ ・ ・ 5
1.4.3 フラットスカル動作とサポートスカル動作の 1 サイクルの局面構造	・ ・ ・ 6
1.4.4 エッグビーターキック	・ ・ ・ 12
1.4.5 エッグビーターキック動作の 1 サイクルの局面構造	・ ・ ・ 12
1.5 シンクロナイズドスイミングの競技方法	・ ・ ・ 15
1.5.1 競技プログラム	・ ・ ・ 15
1.5.2 採点の仕組み	・ ・ ・ 15
1.5.3 推進技術の完遂度の評価	・ ・ ・ 16
第 2 章 文献研究	・ ・ ・ 21
2.1 シンクロナイズドスイミングにおける推進技術の位置づけ	・ ・ ・ 21
2.1.1 シンクロナイズドスイミング選手に求められる競技力	・ ・ ・ 21
2.1.2 ルーティンにおける技術の分類	・ ・ ・ 22
2.1.3 演技中のスカーリングとエッグビーターキックの役割	・ ・ ・ 26
2.1.4 演技中の水上身体高	・ ・ ・ 28
2.1.5 スカーリングとエッグビーターキックの指導上の位置づけ	・ ・ ・ 30

2.1.6	サポートスカルの誕生	・・・ 32
2.2	指導書における推進技術の技術解説	・・・ 35
2.2.1	指導書におけるスカーリングの技術解説	・・・ 35
2.2.2	指導書におけるエッグビーターキックの技術解説	・・・ 42
2.3	推進技術のバイオメカニクス研究	・・・ 45
2.3.1	スカーリング動作の分析	・・・ 45
2.3.2	エッグビーターキック動作の分析	・・・ 47
2.3.3	エッグビーターキックの推進力の分析	・・・ 49
2.3.4	エッグビーターキックスキルと脚の筋力および筋形態との関連	・・・ 51
2.3.5	スカーリングとエッグビーターキックにおける推進力発生のメカニズム	・・・ 53
2.3.6	フラットスカル時の水面にできる渦	・・・ 55
第 3 章	研究の課題	・・・ 56
3.1	問題の所在	・・・ 56
3.2	研究の課題	・・・ 57
3.3	研究の限界	・・・ 59
3.3.1	対象者数について	・・・ 59
3.3.2	スキルの評価について	・・・ 59
3.3.3	対象者の汎用性について	・・・ 59
3.3.4	指導観点の汎用性について	・・・ 59
第 4 章	フラットスカルの動作特性と指導観点	・・・ 60
4.1	一流シンクロナイズドスイミング選手のフラットスカル動作	
	[研究課題 1-1 : 実験 1]	・・・ 60
4.1.1	目的	・・・ 60
4.1.2	方法	・・・ 60
4.1.3	結果	・・・ 64
4.1.4	考察	・・・ 74

4.2	荷重負荷の違いによるフラットスカル動作の比較	
	[研究課題 1-2 : 実験 2]	・・・ 79
4.2.1	目的	・・・ 79
4.2.2	方法	・・・ 79
4.2.3	結果	・・・ 86
4.2.4	考察	・・・ 92
4.3	フラットスカルの動作特性と指導観点 [研究課題 1 のまとめ]	・・・ 97
 第 5 章 サポートスカルの動作特性と指導観点		・・・ 99
5.1	一流シンクロナイズドスイミング選手のサポートスカル動作	
	[研究課題 2-1 : 実験 3]	・・・ 99
5.1.1	目的	・・・ 99
5.1.2	方法	・・・ 99
5.1.3	結果	・・・ 103
5.1.4	考察	・・・ 117
5.2	垂直姿勢保持能力の高い選手のサポートスカル動作	
	[研究課題 2-2 : 実験 4]	・・・ 121
5.2.1	目的	・・・ 121
5.2.2	方法	・・・ 121
5.2.3	結果	・・・ 126
5.2.4	考察	・・・ 133
5.3	垂直姿勢保持能力と筋力および体組成との関連	
	[研究課題 2-3]	・・・ 140
5.3.1	目的	・・・ 140
5.3.2	方法	・・・ 140
5.3.3	結果	・・・ 141
5.3.4	考察	・・・ 142
5.4	サポートスカルの動作特性と指導観点 [研究課題 2 のまとめ]	・・・ 145

第 6 章 エッグビーターキックの動作特性と指導観点	・・・147
6.1 エッグビーターキックスキルの高い選手の動作	
[研究課題 3-1：実験 5]	・・・147
6.1.1 目的	・・・147
6.1.2 方法	・・・147
6.1.3 結果	・・・155
6.1.4 考察	・・・164
6.2 エッグビーターキックスキルと筋力および柔軟性との関連	
[研究課題 3-2]	・・・168
6.2.1 目的	・・・168
6.2.2 方法	・・・168
6.2.3 結果	・・・172
6.2.4 考察	・・・172
6.3 エッグビーターキックの動作特性と指導観点	
[研究課題 3 のまとめ]	・・・178
 第 7 章 総合討論	 ・・・179
 第 8 章 結論	 ・・・183
 第 9 章 今後の課題	 ・・・185
 文献	 ・・・18

表タイトル一覧

第 1 章 序論

Table 1	Sculls for propulsion and support in synchronized swimming (図司, 2005 を改変)
Table 2	Evaluating Execution - " The level of excellence in highly specialized skills" (FINA, 2007)
Table 3	Guiding Scale for Height Quality of Performance Terminology (FINA, 2007)

第 2 章 文献研究

Table 4	Description of the flat scull techniques in synchronized swimming coaching manuals
Table 5	Description of the support scull techniques in synchronized swimming coaching manuals
Table 6	Description of the eggbeater kick techniques in synchronized swimming coaching manuals
Table 7	Muscle cross-sectional area of thigh and psoas major in Japanese elite synchronized swimmers (本間と久野, 2001)
Table 8	Isokinetic peak torque of leg strength by using Cybex, and correlations between peak torque (Nm/BW) and eggbeater kick skill level for Japanese elite synchronized swimmers (本間と久野, 2001)

第 4 章 フラットスカルの動作特性と指導観点

Table 9	Elbow and wrist depth and upper arm and elbow angle depend on no load and 1.5 kg load conditions for Excellent Group and Good Group
Table 10	Upper arm parameters during one cycle of flat scull and heights of greater trochanter in Back Layout position (Layout), Ballet Leg position (BL) and Ballet Leg Double position (BLD)
Table 11	Key differences in flat scull movements between Back Layout position (Layout),

第 5 章 サポートスカル動作特性と指導観点

Table 12	Right upper arm angle, elbow angle and sculling range depend on no load and 1.5 kg load conditions for Excellent Group and Good Group
Table 13	Wrist angles of flexion (+), extension (-), radial (+) and ulnar (-) deviations, and forearm angles of pronation (-) and supination (+) depend on no load and 1.5 kg load conditions for Excellent Group and Good Group
Table 14	Body composition and support scull skill levels of swimmers
Table 15	Upper arm and elbow angles and scull range during one support scull cycle performed by swimmers with excellent and good sculling skills
Table 16	Scull plane angles to the water surface during one support scull cycle performed by swimmer with excellent and good sculling skills
Table 17	Key differences in support scull techniques between swimmers with excellent and good sculling skills
Table 18	Scores of supporting the Vertical Position, percent body fat and isokinetic peak torque of shoulder internal and external rotations by using Biodex System 3 for Japanese elite synchronized swimmers
Table 19	Correlations (r) between scores of supporting Vertical Position and isokinetic peak torque (Nm/BW) of shoulder internal and external rotations, for Japanese elite synchronized swimmers

第 6 章 エッグビーターキックの動作特性と指導観点

Table 20	Physical characteristics and eggbeater kick skill levels of the swimmers
Table 21	Distance profiles for the knees from greater trochanter during one eggbeater kick motion in the normal position and in the arms up position
Table 22	Distance profiles for the heels from greater trochanter during one eggbeater kick motion in the normal position and in the arms up position

Table 23	Angles between planes that swimmers' ankles formed and the water surface, and the angles between right and left planes during one eggbeater kick motion in the normal position and in the arms up position (degrees)
Table 24	Measurement of flexibility for synchronized swimmers
Table 25	Eggbeater kick skill scores and isokinetic peak torque of knee and trunk by using Biodex System 3 for Japanese elite synchronized swimmers
Table 26	Eggbeater kick skill scores and flexibility of hip and ankle joints for Japanese elite synchronized swimmers
Table 27	Correlations (r) between eggbeater kick skill scores and isokinetic peak torque of knee and trunk for Japanese elite synchronized swimmers
Table 28	Correlations (r) between eggbeater kick skill scores and flexibility of ankle and hip joints for Japanese elite synchronized swimmers

図タイトル一覧

第 1 章 序論

- Figure 1 Load above the water surface during arm sequence using eggbeater kick.
Load above the water surface is supported by propulsion techniques like as eggbeater kick or sculling.
- Figure 2 Flat scull on Back Layout position.
Flat scull is used mainly in the back layout positions in synchronized swimming.
- Figure 3 Support scull on Vertical position.
Support scull is used in the vertical position and vertical variation positions.
- Figure 4-1 Definition of stroke and transition phases, and In and Out sculls in scull motion.
- Figure 4-2 Front view of support scull.
Top photos: Inside and outside transition phases of support scull on a vertical position.
Bottom: Stick diagrams of support scull movement during one cycle from front view.
- Figure 5 Eggbeater kick. Eggbeater kick is used mainly for supporting body and traveling.
- Figure 6 Definition of In and Out kicks in eggbeater kick motion.

第 2 章 文献研究

- Figure 7 Factors to be elite synchronized swimmers (本間, 2005).
- Figure 8 Skill components of a team routine (本間, 1994, 1997, 2000b を改変).
Gray area indicates components of main performance, which used with sculling and eggbeater kick techniques.
- Figure 9 Hybrid figures using support scull in duet routines (Left photo by Kaneoka, K., 2004).
- Figure 10 Arm sequence using eggbeater kick in solo routines.
- Figure 11 Acrobatic moves in a team routine.
Left: movements above the water surface, Right: underwater movements.

- Figure 12 Ballet Leg position using flat scull.
Body in Back Layout position. Body extended with face, chest, thighs and feet at the surface. Head (ears specifically), hips, and ankles in line. One leg extended perpendicular to the surface.
- Figure 13 The relation between peak height and technical routine scores for all solo, duet and team technical routines (Homma *et al.*, 2003).
- Figure 14 Comparison of the top 12 routines and others in peak height above the surface for Solo, Duet and Team technical routines in synchronized swimming at the 9th World Swimming Championships in Fukuoka (Homma *et al.*, 2003).
- Figure 15 Sculling in Crane position (Left) and Vertical position (Right) (Yates and Anderson, 1958).
- Figure 16 Sculling for mid depth (Left) and for bottom depth (Right) in Vertical positions (Jones and Lindeman, 1975).
- Figure 17 Whirlpool from flat scull movement (Movies from NHK Education TV, October 9, 2004).

第 4 章 フラットスカルの動作特性と指導観点

- Figure 18 Schematic diagram of experimental set-up at present study.
- Figure 19 Definition of analyzing items.
- Figure 20 Changes in depth of elbow and wrist during sculling for swimmer F, Excellent Group with no load. Zero (0) m of vertical axis indicates the water surface.
- Figure 21 Changes in upper arm angle during sculling for swimmer K, Excellent Group and swimmer Y, Good Group with 1.5 kg load.
- Figure 22 Changes in elbow angle during sculling for swimmer H, Excellent Group with no load.
- Figure 23 Mean sculling time for In scull (Out-In), Out scull (In-Out) and total scull cycle (Total) under no load and 1.5 kg load for right and left hands. Significant differences between no load and 1.5 kg conditions: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.
- Figure 24 Changes in attack angle of the hand during sculling for swimmer F, Excellent Group with no load. An angle of 0 indicates a flat hand parallel to the direction of motion.
- Figure 25 Right and left sculling patterns of middle fingertips and wrists for swimmer F,

Excellent Group under 1.5 kg load condition. The sculling pattern of wrist is a slanting sideways figure eight. The sculling pattern of middle fingertip is a sharp-pointed figure like a drop shape.

- Figure 26 Right and left stroke phases have small incline, not horizontal. It is suggested that inclines of stroke phases cause stability of side to side.
- Figure 27 Back Layout Position (Top), Ballet Leg Position (Middle) and Ballet Led Double Position (Bottom).
- Figure 28 Schematic diagram of experimental set-up at present study.
- Figure 29 Definition of analyzing items.
- Figure 30 Determining the wrist joints angles (桜井ほか,1990).
- Figure 31 Peak angles of the palms during one cycle of flat scull in Back Layout position (Layout), Ballet Leg position (BL) and Ballet Leg Double position (BLD).
- Figure 32 Flat scull patterns for swimmer A, Excellent Group in Back Layout position (Layout, Top), Ballet Leg position (BL, Middle) and Ballet Leg Double position (BLD, Bottom).

第 5 章 サポートスカル動作特性と指導観点

- Figure 33 Vertical position with support scull.
- Figure 34 Schematic diagram of experimental set-up at present study.
- Figure 35 Definition of analyzing items.
- Figure 36 Maximum, minimum and motion range (max-min) of upper arm angles during one support scull for Excellent Group and Good Group under no load and 1.5 kg load conditions.
- Figure 37 Changes in upper arm angle during sculling for swimmer SE, Excellent Group with no load and 1.5 kg load. Differences between min and max of upper arm angles under 1.5 kg load were much larger.
- Figure 38 Changes in elbow angle during sculling for swimmer KN, Excellent Group under no load and swimmer HS, Excellent Group under 1.5 kg load. With a 1.5 kg load, the elbow angle of swimmer HS was decreased at the outside transition phase.
- Figure 39 Changes in sculling range during sculling for swimmer SE, Excellent Group with 1.5

kg load. Range of shoulder external and internal rotations indicate the sculling range.

- Figure 40 Scull range during support scull.
The mean range for 10 swimmers with no load was approximately 105°, from 8° outside to 113° inside.
- Figure 41 Front view sculling patterns of right middle fingertip and right wrist for Excellent Group swimmers under no load and 1.5 kg load conditions. Sculling pattern with no load is a slanting sideways figure of eight. Sculling pattern with a 1.5 kg weight is a slanting sharp-pointed figure like a drop shape for swimmer SE, and larger out circle for swimmer FM.
- Figure 42 Changes in velocity of right wrist and fingertip during sculling for Excellent Group, swimmer SE with no load.
- Figure 43 Schematic diagram of experimental set-up at present study.
- Figure 44 Definition of scull plane angles.
Scull plane angles mean the angles between the water surface and the planes drawn by the wrists from/to In to/from Out during one support scull cycle.
- Figure 45 Changes in angles of wrist flexion and extension and of forearm supination during one support scull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and K with excellent and good skills, respectively. Horizontal axis indicates %time of one support scull cycle (100%).
- Figure 46 Changes in attack angles of hands during one support scull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and K with excellent and good skills, respectively.
- Figure 47 Front view of scull patterns of left and right hands during one support scull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and B (Excellent group) and swimmers J and K (Good group). Swimmers B and K drew a slanting sideways figures of eight and swimmers A and J drew inside sharply pointed figure like a drop shape.
- Figure 48 Bottom view of scull patterns of left and right hands during one support scull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and B (Excellent Group) and swimmers J and K (Good Group).
Average scull ranges were L 100°, R 106° for Excellent Group and L 81°, R 84° for Good Group. Excellent Group had 19–21% larger scull range than Good Group had.
- Figure 49 Sculling cycle time during one support scull cycle performed by Japanese National Team with excellent and good skills. Out-scull phase was longer for swimmers with excellent (52%), than with good (45–48%) skills.

第 6 章 エッグビーターキックの動作特性と指導観点

- Figure 50 Schematic diagram of experimental set-up at present study.
- Figure 51 Eggbeater kick in the normal position (top photo) and in the arms up position (bottom photo).
- Figure 52 Determining the ankle plane.
- Figure 53 Determining the coordinate system for the angular velocity of the thighs, lower legs and feet.
- Figure 54 Stick figure of the eggbeater kick in the normal position for swimmer A, Excellent group, and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers. One eggbeater kick cycle is 100%.
- Figure 55 Distance profiles of the knee and heel from the greater trochanter (0.0: zero) during one eggbeater kick motion in the normal position for swimmer A, Excellent Group and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers. The distance of the knee and the heel means the relative height of the knee and the heel. One eggbeater kick cycle is 100%.
- Figure 56 Relative angle of the thighs, which means the angle profile of between the right and left thigh, during one eggbeater kick motion in the normal position for swimmer A, Excellent Group, swimmer C, Very Good Group and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers.
- Figure 57 The planes that the ankles formed through the eggbeater kick in the normal position, and the angles between these planes and the water surface for swimmer A, Excellent Group and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers. The planes that the ankles formed are shown by shadowing.
- Figure 58 Angular velocity profiles around each axis in the moving systems during eggbeater kick motion in the arm up position for swimmer B, Excellent Group, and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers.
- Figure 59 Flexibility test for synchronized swimmers.

第1章 序論

1.1 研究の背景

シンクロナイズドスイミングは、身体の一部を水上に出して表現動作をする運動である。水上に身体の一部を出すと、水上に出た体積と同等の浮力が減少するため、その姿勢を保持するには減少した浮力と同等の支持力を何らかの方法で得なければならない。シンクロナイズドスイミングでは、スカーリング（腕のかきによって推進力を生む動作）やエッグビーターキック（膝を支点として下腿を左右交互に巻いて推進力を生む立ち泳ぎの一種）といった推進技術（Propulsion Techniques）によって上方への推進力を得、身体の一部を水上に保持し、さまざまな表現動作を可能にしている（Figure 1）。

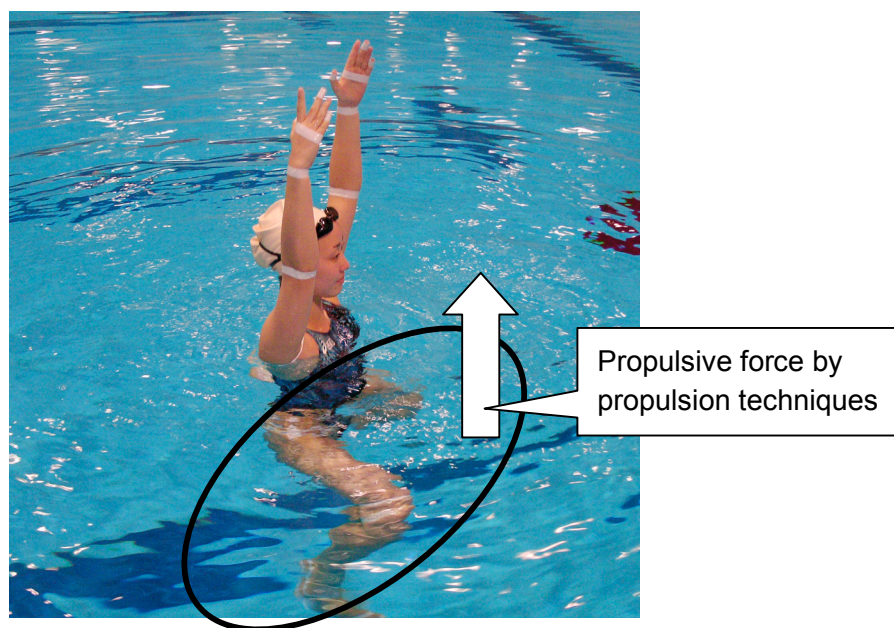


Figure 1 Load above the water surface during arm sequence using eggbeater kick. Load above the water surface is supported by propulsion techniques like as eggbeater kick or sculling.

シンクロナイズドスイミングの技や動作には、水上の身体の高さ、動作の安定性・なめらかさ・鮮明さ、動きのスピードのあることが求められ (FINA, 2005; McGowan, 2006), より高いパフォーマンスを遂行するには、効率の良いスカーリングやエッグビーターキックのスキルの習得が必須である。スカーリングとエッグビーターキックはシンクロナイズドスイミングの技と動作を行うために不可欠の基本技術であり、これらは技の優劣を左右する重要な技術である (本間, 1992 ; 金子ほか, 1979; Lundholm and Ruggieri, 1976 ; McGowan, 2006 ; 元好, 1986, 1987 ; Nesbitt, 1991 ; Reeves, 1975 ; 図司, 1990, 1993, 2005)。

シンクロナイズドスイミングの指導現場では、近年の急速な競技の発展および技の高難度化にともない、いっそうの動作の安定性とスムーズさ、そして何よりも水上により高く身体を上げることが求められている (本間, 2005, 2006)。シンクロナイズドスイミング日本代表チームは、世界水泳選手権とオリンピック競技大会において、1997 年より 2007 年現在まで世界第 2 位の競技成績を収めている。世界の強豪国と比較して、日本代表チームの弱点としてたびたび指摘されているのは、水上の身体の高さが低いことと水平移動スピードの遅いことである (本間, 2000a ; 本間と伊藤, 2005 ; 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会科学技術部, 2002)。また、2005 年世界水泳選手権を終えてナショナルコーチが掲げた次年度 (2006 年度) の日本代表チームの課題には、「立ち泳ぎの徹底訓練」と「倒立の高さを上げる」の 2 点が含まれている (財団法人日本水泳連盟シンクロナショナルコーチ, 2005)。ナショナルコーチは、他の上位チームと比較して日本選手は身体体積が小さく見え、ルーティン^{注1}のスケール感がなかったことを指摘し、それは日本選手の立ち泳ぎ時の水上の身体の高さが低いことが原因であると分析している。また、倒立 (垂直姿勢)^{注2}の高さについては、世界トップレベルの高さへ上げることをめざし、数値目標として水面位置を膝上 30 cm にすることを掲げている。このように、日本代表チームは立ち泳ぎとフィギュア (脚技)^{注3}の両方のパフォーマンスにおいて、高い身体の高さを維持することを最重要課題とし日々のトレーニングに取り組んでいる。「高さを上げる」ため、「高さを維持する」ためには鉛直上方への推進力を生む推進技術のスキル向上が不可欠である。

注1 ルーティン (Routine) は、ストローク、フィギュアとその部分から構成され、音楽に合わせて振り付けた演技のことである。

注2 垂直姿勢 (Vertical position) は、頭を下方にし両脚を揃えて水面に垂直に伸ばした姿勢のことである。指導現場では通常、「倒立」と呼ぶことが多い。

注3 フィギュア (Figure) は、ルールブックに規定された約 200 のフィギュアひとつひとつのことをさす場合もあるが、ルーティン中で実施される脚技の総称で用いられることが多い。

シンクロナイズドスイミングにおいてスカーリングとエッグビーターキックという推進技術はもっとも基本の技術でありながら、同時に、トップレベルにおいても最大の課題として挙げられる非常に重要なスキルである。しかしながら、その技術を解明しようとした実験的研究は数えるほどしかない。スカーリング動作の先行研究はわずかにみられるが、そのほとんどは2次元分析によるものであり、3次元的な動きであるスカーリング動作の解析には、なお研究の余地がある。他方、エッグビーターキックについては3次元分析が行われているものの、水球選手を対象にした研究であり、シンクロナイズドスイミング選手を対象にしたものはみられない。ましてや、オリンピックや世界選手権上位の競技レベルにある選手を対象に行われた研究は皆無であり、中級者や上級者がさらにスカーリングやエッグビーターキックスキルを向上させるための指導観点までは言及されていない。

これまで多くの指導書が出版され、スカーリングおよびエッグビーターキック動作について流体力学的理論からの技術解説や、経験から記述された指導法や技術解説が記されている。しかし、そこで述べられているのは、例えば、スカーリング動作であれば、「最適な迎え角を伴って手のひらの向きを変化させながらスカルする」「前腕をインとアウトに水平に動かす」とあるだけで、肘の屈曲角度や迎え角などの至適角度やスカルの幅が具体的に示されているものはほとんどない。もちろん、これまでに出版されている指導書は、初めて推進技術を習う者にとっては大変参考になり、指導にきわめて有用なものである。しかしながら、中・上級者がさらにスカーリング技術を向上するための実践的示唆が不十分であり、指導書に書かれている動作特性についても定量的に検証されていない。

それゆえ、トップレベルのトレーニング現場では、推進技術のスキル向上に向けての指導上の実践的な示唆が待たれている。よって、シンクロナイズドスイミングの推進技術の動作特性を解明し、効率よく推進力を得るための技術および指導観点について研究を進める必要があると思われる。

1.2 研究の目的

そこで本研究では、3次元画像分析によって一流シンクロナイズドスイミング選手のスカーリングとエッグビーターキックの動作特性を運動学的に明らかにし、上位者の特長からより効率的な推進技術の指導観点を導き出すことを目的とした。

1.3 研究の意義

本研究の意義は、シンクロナイズドスイミングの指導現場で求められている、より効率的に推進力を発揮できるスカーリングやエッグビーターキックのスキル向上のための実践的示唆を得られることである。また、経験や理論的背景から述べられているスカーリングやエッグビーターキックの技術解説を定量的に検証することができる。さらには、3次元画像分析を行うことによって、スカーリングやエッグビーターキックの推進力発生メカニズムの解明に役立つ知見を得ることができると考えられる。

1.4 技術的用語の定義

1.4.1 推進技術，推進力，荷重負荷

一般的に物体が移動を伴う場合に「推進」ということばが用いられる．広辞苑（1999）によると、「推進」はおし進めることをさし、「推進力」は物体をおし進める力のことをいう．

シンクロナイズドスイミングにおいて，身体の一定の高さを保持しながら演技を遂行するには浮力の減少分と同等の支持力を発揮し続ける必要がある．つまり，現象として身体の移動を伴わない場合でも，水平方向へ移動する際と同様の技術を用いて鉛直上方への力を発揮し続けている．FINA（国際水泳連盟）発行のシンクロナイズドスイミングコーチ・ジャッジ・レフリーマニュアル（FINA, 2006, 2007）では，移動を伴うスカーリング，エッグビーターキックとともに静止状態のものも“Propulsion Techniques”として分類され，我が国のジャッジの手引き（財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会，2006）では“Propulsion Techniques”を「推進技術」と翻訳している．

このような背景から，その場で身体を支持するエッグビーターキックおよびスカーリングのいずれの技術も本研究では「推進技術」と定義し，これらの技術で発揮される鉛直上方の力を「推進力」と呼ぶことにする．また，本研究では，浮力の減少分を荷重負荷と考える．

1.4.2 スカーリング，フラットスカル，サポートスカル

スカーリングは，腕を水中で動かして推進力を得る技術のことである．シンクロナイズドスイミング競技では，スカーリングの方法は任意とされており，規定はない．したがって，どのようなスカルをしてもかまわず，身体姿勢や進行方向の違いによって最適で効率の良いスカーリングが使い分けされている（Adamson *et al.*, 1985; Gundling and White, 1988; 本間, 1992; Kartashov, 2005; Synchro Canada, 2002; 図司, 1990, 1993, 2005）．スカーリングは手首の角度によって移動方向を変えることができる．つまり，進みたい方向と反対側に手のひらを向けてスカルする．手首の掌屈・背屈角度にはフラット（手首を掌屈・背屈しない），スタンダード（手首を約 45°背屈する），リバーズ（手首を約 45°掌屈する）の 3 種類があり，フラットは静止のときに用いる．スカーリングには多くの種類があり，その呼び名も国によってさまざまである．我が国の水泳コーチ教本（図司, 1993, 2005）の分類によると，スカーリングは静止のためのスカーリング（上向き水平姿勢，下向き水平姿勢，垂直姿勢）と推進のための

スカーリング（エール、スネール、トーピード、リバーストーピード、カヌー）に分けられ、さらに垂直姿勢での静止のためのスカーリングのサポートスカルを別に分類している（Table 1）。

本研究では、スカーリングを、瞬発的な推進力を発揮するような腕のかきでなく、一定の推進力を連続して発揮し続ける腕のかきの技術と定義する。そして、「スカーリング」を多種類のスカーリングの総称として用いる。また、上向き水平姿勢で腕を身体の横に位置し手首をフラットにした静止のスカーリングを「フラットスカル」（Figure 2）と定義する。さらに、頭を下方にした垂直姿勢または垂直のバリエーション姿勢で用い、腕を胴体の前または横に位置し手首をフラットにした静止のスカーリングを「サポートスカル」（Figure 3）と定義する。フラットスカルは水球、日本泳法、救助法などでも多用されるが、サポートスカルはシンクロナイズドスイミング特有の技術である。

1.4.3 フラットスカル動作とサポートスカル動作の1サイクルの局面構造

本研究では、フラットスカルとサポートスカルの1サイクルの局面構造を Figure 4-1 および Figure 4-2 のように定義する。1 スカルの中で、もっとも外の位置（身体から離れた位置）をアウト（Out）、もっとも内の位置（身体を中心に近づいた位置）をイン（In）とする。そして、外から内への動作をインスカル、内から外への動作をアウトスカルと呼ぶ。ほぼ水平方向にスカルしている局面をストローク局面（Stroke Phase）、インスカルからアウトスカルへ、またはアウトスカルからインスカルへ切り替わる局面、つまり手のひらの向きを変える局面を移行局面（Transition Phase）とし、インスカルからアウトスカルへ切り替わる局面を内側移行局面（Inside Transition Phase, Figure 4-2 の写真左右）、アウトスカルからインスカルへ切り替わる局面を外側移行局面（Outside Transition Phase, Figure 4-2 の写真中央）と呼ぶ。

Table 1 Sculls for propulsion and support in synchronized swimming
(図司, 2005 を改変)

	姿勢	手の位置	手首の角度	進行方向
推進のためのスカーリング				
エール	上向き水平姿勢, バレーレッグ姿勢 などの水平系姿勢	腰の横	スタンダード	頭の方
スネール	上向き水平姿勢, バレーレッグ姿勢 などの水平系姿勢	腰の横	リバース	足先の方
トーピード	上向き水平姿勢	頭上	スタンダード	足先の方
リバーストーピード	上向き水平姿勢	頭上	リバース	頭の方
カヌー	下向き水平姿勢	肩から胸の間	スタンダード	頭の方
ロシアンスカル	下向き水平姿勢	顔斜め前方下	リバース	上体斜め下へ前進し, 頭はプール底
パドルスカル	下向き水平姿勢	顔斜め前方下	リバースの変形	上体斜め下へ前進し, 頭はプール底
静止のスカーリング				
フラットスカル	上向き水平姿勢, バレーレッグ姿勢 などの水平系姿勢	腰の横	フラット	静止
支持のためのスカーリング				
サポートスカル	垂直姿勢などの 垂直系姿勢	腰の前から横	フラット	静止
オーバーヘッドスカル	垂直姿勢などの垂直 系姿勢. 主にトワール やスピンで用いる.	肩から頭上の間	スタンダード	静止

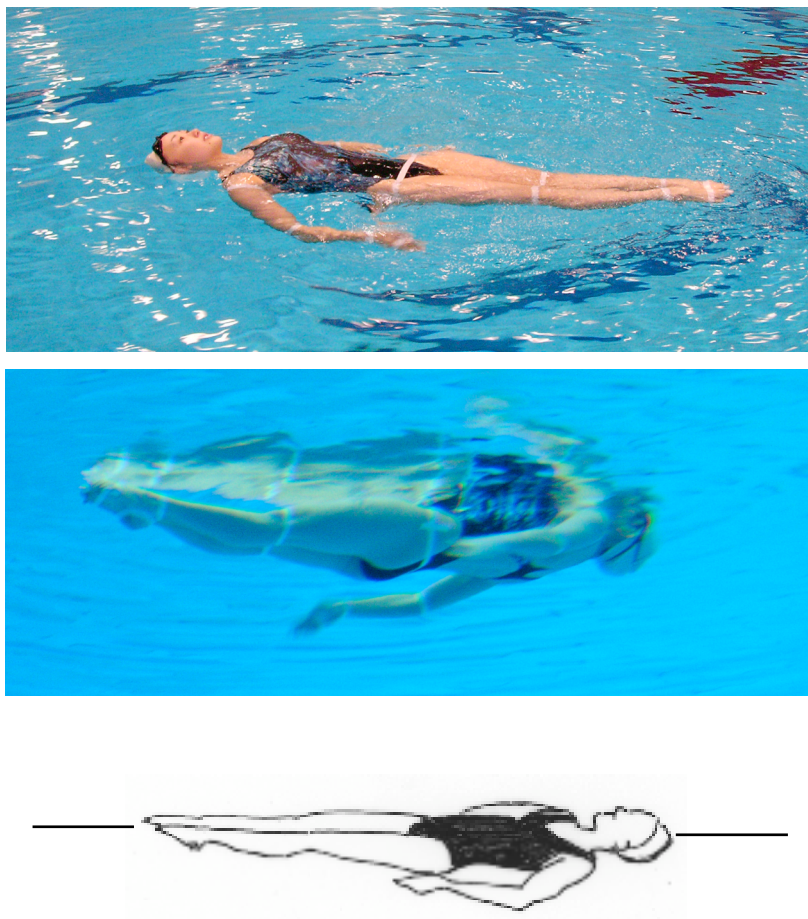


Figure 2 Flat scull on Back Layout position.
Flat scull is used mainly in the back layout positions
in synchronized swimming.

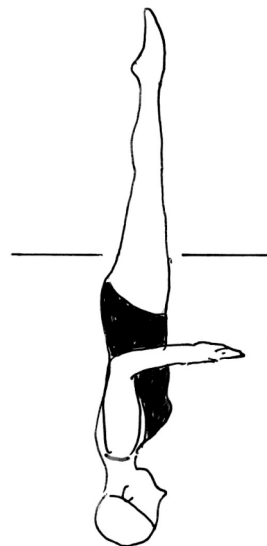


Figure 3 Support scull on Vertical position.
Support scull is used in the vertical position and vertical variation positions.

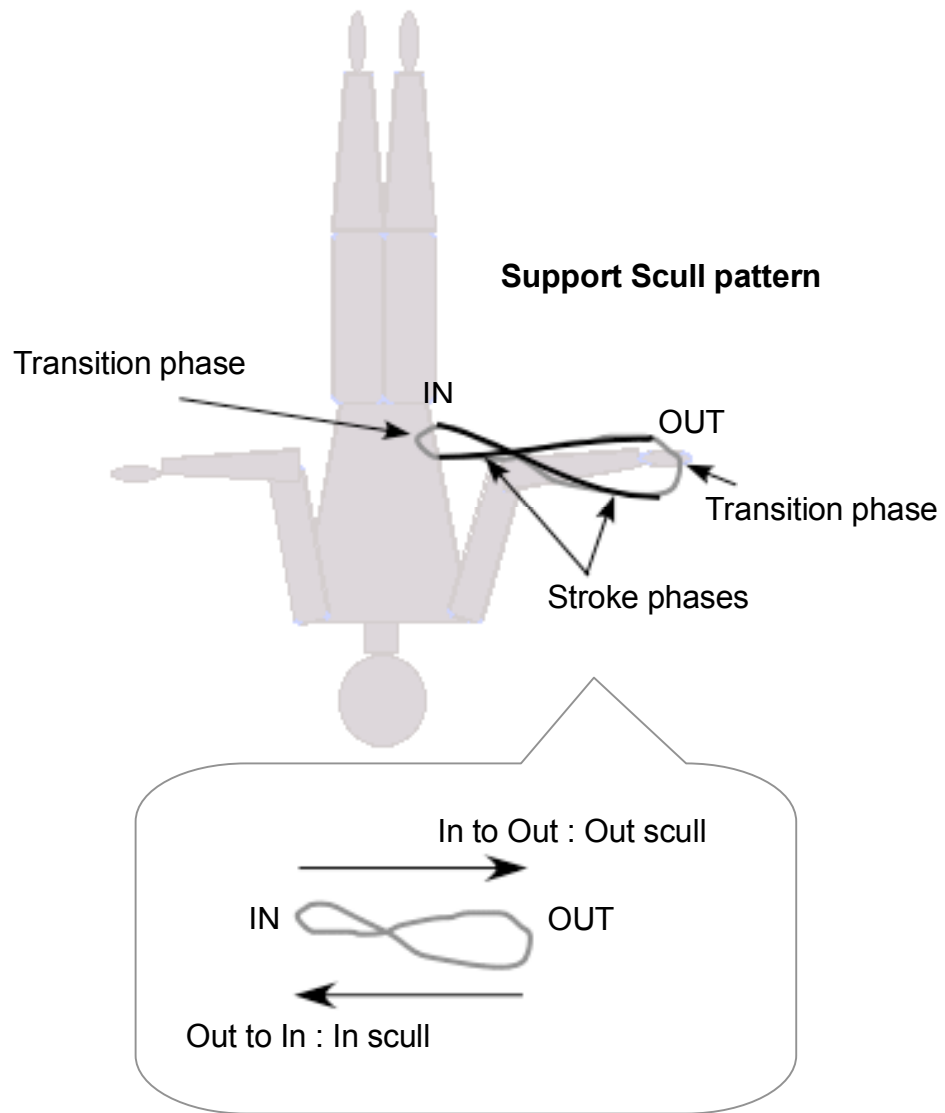
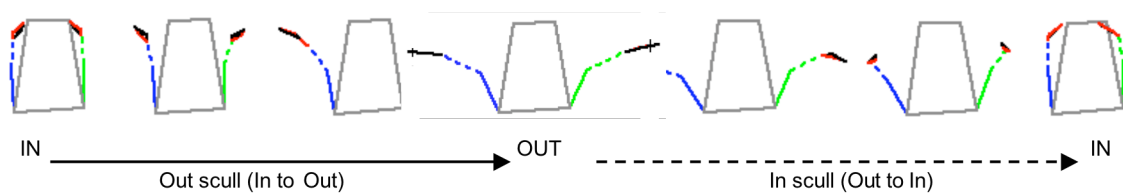
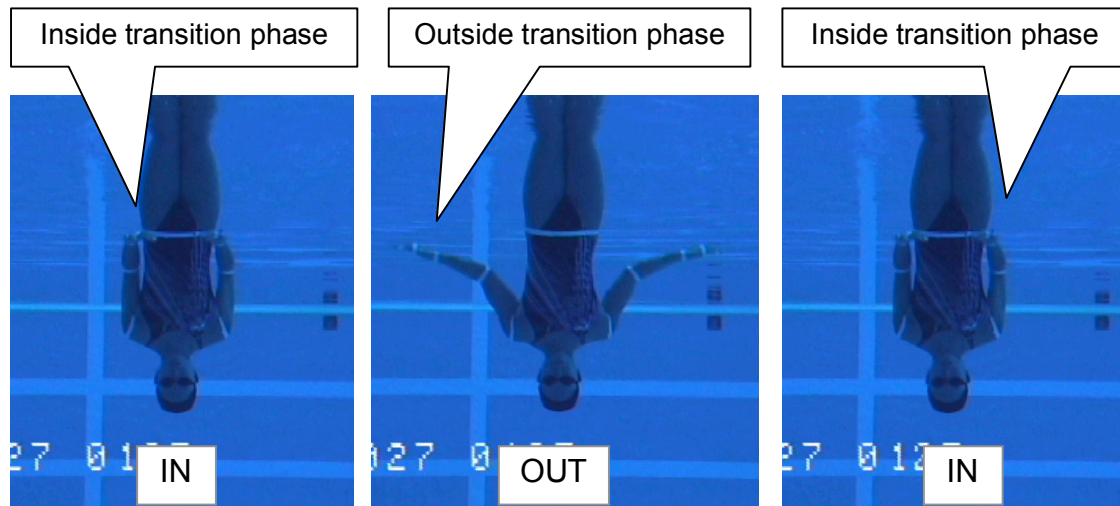


Figure 4-1 Definition of stroke and transition phases, and In and Out sculls in scull motion.



Front view of support scull movements during one cycle

Figure 4-2 Front view of support scull. Top photos: Inside and outside transition phases of support scull on a vertical position. Bottom: Stick diagrams of support scull movement during one cycle from front view.

1.4.4 エッグビーターキック

エッグビーターキック (Figure 5) は、頭を上方にし胴体を垂直に立てた座位（椅子に座った姿勢）で膝を横に開き、下腿を左右交互に動かして推進力を得る技術のことである (FINA, 2007)。エッグビーターキックは脚の動きに休息局面がなく連続的な支持力を生む (Forbes, 1989) 技術である。エッグビーターキックの動作はブレストストロークのキック動作に似ており、膝をできるだけ広げ、片脚ずつ足と下腿で大きな円を描くように動かす。左脚は時計回りに、右脚は反時計回りに左右交互に動かすという非常に複雑な動作である (Forbes, 1989)。脚の動きが電動式調理器の「卵かき混ぜ器」に似ていることからこの名がつけられた。我が国においては日本泳法の遊泳術のひとつに立ち泳ぎがあり、古くから行われている (財団法人日本水泳連盟, 1983)。流派によって用いられる足の動きや呼称が多少異なるが、踏み足、あおり足、蹴り足、挟み足、巻き足などの種類がある。このうち、巻き足と呼ばれるものがエッグビーターキックと同一の動きである。エッグビーターキックはシンクロナイズドスイミングや水球において頻繁に用いられる推進技術であるが、日本泳法や救助法においても重要な基本技術で、広く活用されている (荒木昭好, 1974 ; 大本洋嗣, 1996 ; 財団法人日本水泳連盟, 1983)。我が国のシンクロナイズドスイミングの指導現場においては、エッグビーターキックを通常「立ち泳ぎ」と呼び、それは巻き足での立ち泳ぎをさす。

1.4.5 エッグビーターキック動作の1サイクルの局面構造

Figure 6 に示したように、アウト（外）からイン（内）への動作をインキック、イン（内）からアウト（外）への動作をアウトキックと呼ぶ。

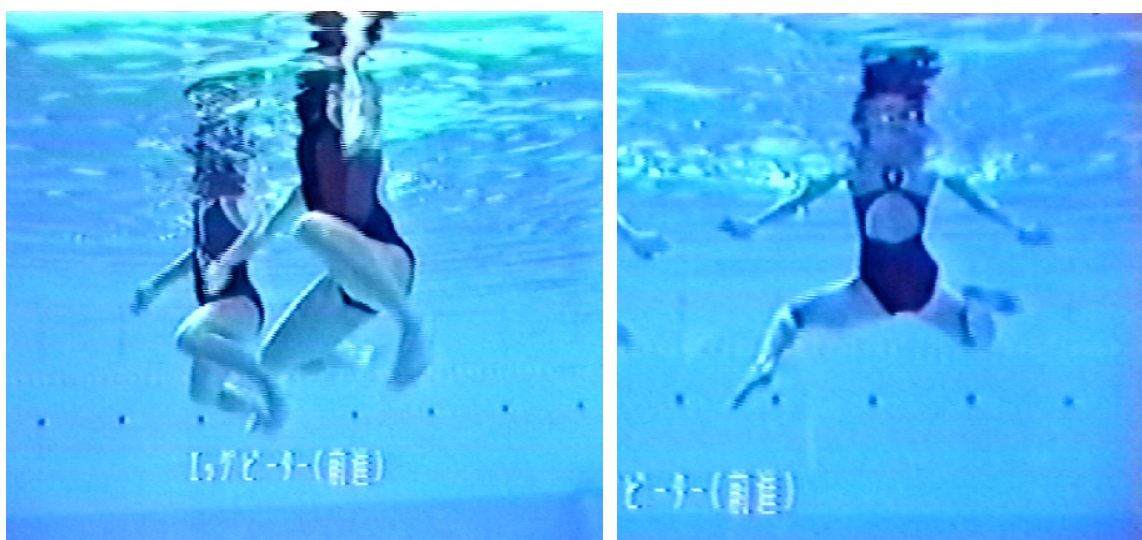
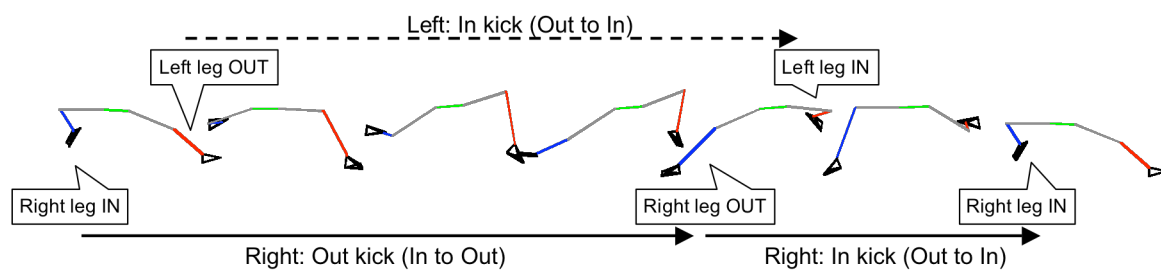
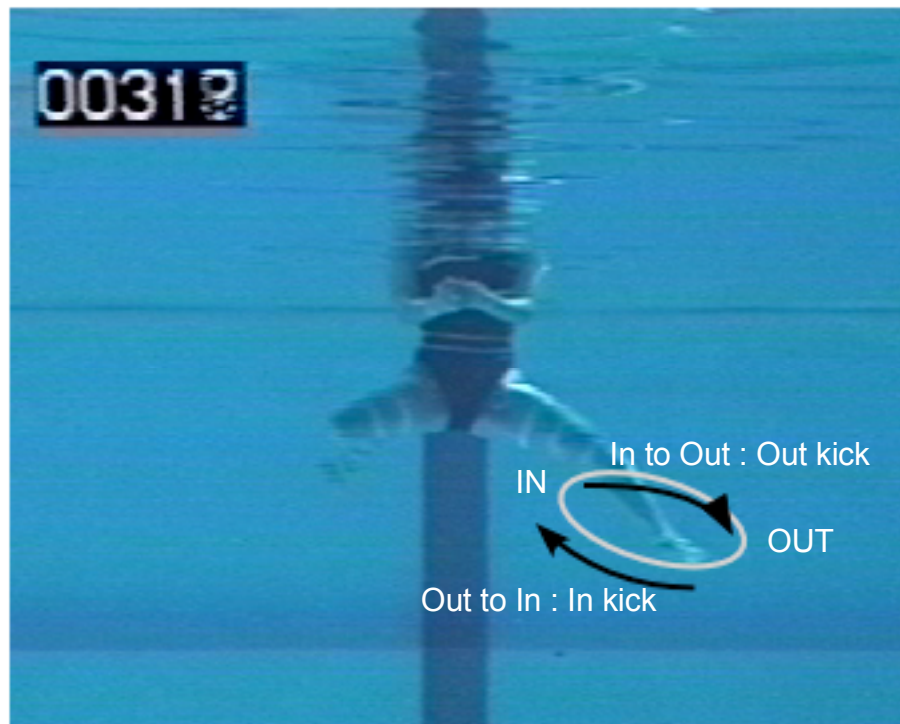


Figure 5 Eggbeater kick. Eggbeater kick is used mainly for supporting body and traveling.



Front view of eggbeater kick movements during one cycle

Figure 6 Definition of In and Out kicks in eggbeater kick motion.

1.5 シンクロナイズドスイミングの競技方法

1.5.1 競技プログラム

シンクロナイズドスイミングには、1名で泳ぐソロ、2名で泳ぐデュエット、4-8名で泳ぐチーム、および4-10名で泳ぐフリー・コンビネーションの4つのイベントがある。競技プログラムには、フィギュア、フリー・ルーティン、テクニカル・ルーティンの3つがある。ソロ、デュエット、チームは、フリー・ルーティンを含む2つ以上のプログラムを実施し、合計点で順位を決定する。現在、オリンピックでは、フリー・ルーティンとテクニカル・ルーティンの2つのプログラムを実施し、両方の合計得点で順位を決定している。

フィギュア^{注3}は、基本姿勢と基本動作を組み合わせた連続動作のことで、競技会では一人ずつ審判団の前へ出て遂行し、デザインとコントロールの出来を競う。2007年現在、FINAフィギュアは10秒未満の短いものから1分以上の長いフィギュアまで194種類がリストされている。フリー・ルーティンは、3-4分の演技制限時間が設けられ、伴奏音楽を用いて自由な構成で演技を行うものである。テクニカル・ルーティンは、2分-2分50秒の演技制限時間が設けられ、伴奏音楽を使用し、演技中にルールで定められた7-10個の規定要素（Required Elements）を順序通りに実施することが求められる。そして、特定の要素以外はすべて、泳者全員（デュエットの場合は2名、チームの場合は8名）が同時同方向で演技しなければならない。フリー・コンビネーションは、演技制限時間が5分、人数は4-10名で、ソロ、デュエット、トリオ、グループで構成するフリー・ルーティンを自由に組み合わせた演技を行う。

1.5.2 採点の仕組み

シンクロナイズドスイミングは、審判員（ジャッジ）の採点によって順位決定される評定競技である。ジャッジによる評価の観点は、大きく2つに分けると、演技内容の価値（難度）と完成度の度合いである。ジャッジは選手が実施した演技を、採点基準にそった絶対的評価をもとに、出場選手の相対的な評価を加えて総合的に評価する。

ルーティンのジャッジパネル（審判団）は、有資格のジャッジが十分に揃う場合、ジャッジ5名または7名の2パネルを編成する。フリー・ルーティンでは、1パネルがテクニカル・メリット、1パネルがアーティスティック・インプレッションを採点する。テクニカル・ルーティンでは、1パネルがエクスキューション、1パネルがオーバーオール・インプレッシ

ョンを採点する。各審判員は採点基準に従い、10点満点（1/10 併用）で採点する。

フリー・ルーティンにおけるテクニカル・メリットは技術的評価で、完遂度、同調性、難易度の観点から採点する。アーティスティック・インプレッションは芸術的評価で、演技構成、音楽の解釈、プレゼンテーションの観点から採点する。一方、テクニカル・ルーティンにおけるエクスキューションは、完遂度、つまりどれだけ完璧に遂行されているかの度合いを採点し、オーバーオール・インプレッションは同調性、難易度、演技構成および音楽の使用、プレゼンテーションの観点から採点し、フリー・ルーティンよりも技術面を重視した評価となっている（本間，2002）。

1.5.3 推進技術の完遂度の評価

ルーティンにおける完遂度（execution）の評価は、泳者が専門技術をどれだけマスターし、完全に近い演技をしているかの度合いを採点する（McGowan, 2006）。Table 2 は FINA が定めた完遂度の評価基準である。ここでは本研究で扱うスカーリングとエッグビーターキックを用いた動作の完遂度の評価について説明する。

ストローク（泳ぎ）^{注4}、エッグビーターキック、スカーリングやキックなどの推進技術の完遂度は、最小限の力で最大の効果が出せているか、規則どおりの良い姿勢が保たれているか、水上に身体を高く出せているか、水上の荷重負荷と効率性を保持するのに十分な強さとパワーを備えているか、動作がなめらかで楽に（effortless）こなしているようにみえるかを観察し評価する（Bean, 2006）。優れた泳者は、1）水面からの身体の高さが高く、2）動作をなめらかに楽にこなしており、3）ストロークに最適なキックを使用している（McGowan, 2006）。

フラットスカルとサポートスカルを主に用いて遂行するフィギュアおよびハイブリッドフィギュア^{注5}の完遂度は、水上に身体を高く出せているか、全身の伸びがあるか、正確な姿勢と動作が遂行されているか、水上の荷重負荷を保持するのに十分な強さ（strength）とパワー（power）を備えているか、なめらかで楽に（effortless）みえる動作を遂行できているかを観察し評価する（Bean, 2006）。泳者は、高さ、なめらかさ、正確さと楽さ（effortless）を備え

注4 ストローク（Strokes）は、平泳ぎ、背泳ぎ、クロールなどの泳ぎのことである。

注5 ハイブリッドフィギュア（Hybrid figures）は、基本姿勢、基本動作、およびオリジナルな動きを複合した脚技のことである。フィギュアとハイブリッドフィギュアを併記して用いるときには、フィギュアはシンプルな脚技をさし、ハイブリッドフィギュアはシンプルなフィギュアを組み合わせた複合的な脚技をさす。

Table 2 Evaluating Execution - " The level of excellence in highly specialized skills" (FINA, 2007)

<i>JUDGING FACTORS</i>		<i>Excellent / Near Perfect</i> 9.5	<i>Good</i> 7.5	<i>Satisfactory</i> 5.5	<i>Weak</i> 3.5
<i>Strokes</i>	<i>Efficiency</i>	Very Effective	Good	Average	Inadequate, ineffective
	<i>Power, motion</i>	Strong, rapid travel	Strong, good travel	Ordinary, fair travel	Very weak, little travel
	<i>Water Level</i>	Very high	High	Low, inconsistent	Deep, bouncing
	<i>Fluidity</i>	Smooth, clean, uniform	Mostly smooth, even	Interrupted, not uniform	Jerky, uneven
<i>Kicks</i>	<i>Effort</i>	Not apparent	Hardly noticeable	Obvious	Struggling
	<i>Efficiency</i>	Very Effective	Good	Fair	Inadequate, weak
	<i>Power, motion</i>	Strong, rapid travel	Fairly strong, good motion	Weaker motion	Weak, doesn't travel much
	<i>Splash, Turbulence</i>	Non existent	Minimal	Evident	Aplashy, uncontrolled
<i>Propulsion</i>	<i>Fluidity</i>	Smooth, uniform motion	Mostly smooth	Jerky	Irregular, jerky
	<i>Effort</i>	Not apparent	Little apparent	Obvious	Struggling, laborious
	<i>Efficiency</i>	Very Effective	Good	Fair	Inadequate, lacking
	<i>Power, motion</i>	Strong travel & lifting	Good lift & travel	Little lift, weaker travel	No lift, feeble travel
<i>Figures / Hybrids</i>	<i>Splash, Turbulence</i>	Non existent	Minimal	Evident	Obvious
	<i>Height & strability *</i>	High, solid, superior *	High, steady, good *	Low, unsteady, adequate *	Deep, wobbly, poor *
	<i>Fluidity</i>	Very smooth & uniform	Mostly smooth	Bouncy	Uncontrolled
	<i>Effort</i>	Confident	Little apparent	Obvious	Frantic
	<i>Position accuracy</i>	Clear, precise	Usually accurate	Inaccurate or undefined	Accuracy / definition lacking
	<i>Motion accuracy</i>	Solid, neat, clean	Clear	Sometimes blurred, fuzzy	Wild, uncertain
	<i>Height, stable *</i>	Always high, superior *	Usually high, good *	Adequate *, wavering	Poor *, variable
	<i>Height, dynamic *</i>	Always high, superior *	Usually high, good *	Adequate *, variable	Poor *, uncertain
	<i>Stability</i>	Solid, unwavering	Controlled	Uncertain, wavering	Uncontrolled
	<i>Fluidity</i>	Always smooth	Mostly smooth	Varying, jerky	Discontinuous
	<i>Effort</i>	Confident	Little apparent	Sometimes obvious	Struggling

* Refer to the Guiding Scales for Height Quality of Performance (Table 3) for the relation of height to each quality item.

て動作を遂行しなければならない。そして優れた泳者は、熟練した技術に見合う強さがあり、技術と力のバランスがよく、無駄な腕の動き（スカーリング動作）がない（McGowan, 2006）。

以上をまとめると、動作遂行時に求められていることは、1) 水面上からの身体の高さを高く保持できること [高さ]、2) 姿勢と動作を規則どおりに正確に遂行すること [姿勢と動作の正確さ]、3) 効率よくなめらかで楽に動作を遂行すること [なめらかさ、安定性] であり、これらの動作をより高いレベルで遂行するには、水中での推進技術のスキルを高めることが重要な課題となる。

「高さ」(Height) の評価基準は、FINA 発行のシンクロナイズドスイミングジャッジ・コーチ・レフリーマニュアルに掲載されている (Table 3, FINA, 2007)。それによると、高さの質はステーブルハイト (Stable Height)、ダイナミックハイト (Dynamic Height)、アシステッドハイト (Assisted Height) の3種類に分類され、それぞれに高さの評価スケールが設定されている。ステーブルハイトは、サポートスカルで支持する垂直姿勢、クレーン姿勢^{注6}、フラットスカルで支持するバレレレッグ^{注7}、エッグビーターキックで支持するアームシークエンス^{注8}などのように一定の高さを保持しながら動作を行うときの高さをさす。ダイナミックハイトはスラスト^{注9}、ブースト^{注10}、ロケットスプリット^{注11}などの動的な動作の高さをさす。アシステッドハイトは、デュエットやチームの中で、他の泳者に支えられて行う動作の高さをさし、例えば、リフトやジャンプ動作がこれにあたる。

ジャッジは高さの質ごとに設定された評価スケールに基づいて、演技中の「高さ」の要素の得点を割り出す。「高さ」は Table 3 に示したように、水面より上に身体部分がどれだけ高く出たか、すなわち水面に対する身体的位置 (water level) で評価する。例えば、サポートスカルを用いて遂行するステーブルハイトの両脚での垂直姿勢 (表中の Double Vertical) の高さ

注6 クレーン姿勢 (Crane position) は、頭を下にした垂直姿勢で、片脚を身体に対して 90° (水面に平行) に伸ばし、もう一方の脚を水面に対して垂直に上げた姿勢である。

注7 バレレレッグ (Ballet leg) は、上向き水平姿勢で片脚を水面に対して垂直に伸ばした姿勢である。

注8 アームシークエンスは、両腕または片腕を水上に挙上して行う連続した表現動作のことである。多くはエッグビーターキックを用いて行われる。

注9 スラスト (Thrust) は、両脚が水面に垂直なバックパイク姿勢から始め、身体をアンロールし、同時に両脚、腰を素早く上方につき上げ、垂直姿勢になる動作である。高い方がよいと規定されている。

注10 ブースト (Boost) は、素早い頭からの上昇動作である。身体が最高位に達したとき、両腕を水上に上げ、水中に完全に沈み込んで完了する。

注11 ロケットスプリット (Rocket Split) は、スラストから、素早く開脚をし、最高位で両脚を閉じて垂直姿勢になり、素早い 360° スピンを行う動作である。

Table 3 Guiding Scale for Height Quality of Performance Terminology
(FINA, 2007)

Water Levels For:		Excellent / Near Perfect	Very Good	Good	Satisfactory	Weak
		9.5	8.5	7.5	5.5	3.5
Stable Height	Double Vertical	Upper Mid Thigh	Mid Thigh	Well above knee cap	Knee cap	Below knee cap
	Bent Knee Vertical	At Crotch	Upper thigh and higher	Mid thigh or Higher	Near mid-Thigh	Knee cap
	Crane Position	Back of horizontal leg dry	Upper thigh and higher	Upper Thigh	Near mid-Thigh	Knee cap
	Ballet Leg	At top of thigh	Upper Thigh	Mid thigh or Higher	Above knee cap	At or below knee cap
	Eggbeater kick Double Arms	Bust above surface	Mid bust	armpit dry	Showing shoulder	Chin dragging
Dynamic Height	Thrust, double leg	Waist or heigher	Lower waist	Pelvis points	Upper thigh	Through knee cap
	Thrust, single leg	Mid Ribs	Waist	Pelvis points	Crotch level	Upper thigh
	Rocket Split	Waist or heigher	Lower waist	Pelvis points	Some suit shows	Mid thigh
	Boost(head up)	At crotch	Mid-pelvis	Top of pelvis	Waist	Barely to ribs
Assisted Height	Foot First lift	To chin	Shoulder line	Mid-chest	Waist, may be unstable	Better without boost
	Head Up lift	Full body	To ankles	Mid calf	Upper calf	Hips, may waver
	Platform lift-height	Totally with platform above surface	Only lifted swimmer above the water	At or above surface	Knees(head up)	Hips(head up)

は、水面位置が大腿中央の上部の場合（大腿中央の上部まで水上に出たとき）9.5 点、水面位置が大腿中央の場合 8.5 点、水面位置が膝頭を十分に超えた高さの場合 7.5 点、水面位置が膝頭あたりの高さの場合は 5.5 点が基準になる。またエッグビーターキックでの両腕水上（表中の Eggbeater kick Double Arms）の動作における高さは、胸部が完全に水上に出た場合 9.5 点、胸部中央が水面位置の場合 7.5 点が基準となる。

「正確さ」(Well-defined lines) の評価は、ルールブックに記載されているとおりに姿勢や動作が遂行されているかどうかを採点する。例えば、垂直姿勢は、「身体は、頭を下にして両脚を揃え水面に垂直に伸ばす。頭（特に耳）、腰、足首は一直線上。」（財団法人日本水泳連盟，2006）と規定されており、ジャッジはその完成度の度合いを評価する。

「なめらかさ・安定性」(Smoothness and effortlessness) の評価は、常に一定のスピードで動作が行われ、上下動や横揺れの少ない効率的な動作が望ましいとされる。ジャッジはその完成度の度合いを評価する。

第2章 文献研究

2.1 シンクロナイズドスイミングにおける推進技術の位置づけ

2.1.1 シンクロナイズドスイミング選手に求められる競技力

シンクロナイズドスイミング選手に必要な競技力はFigure 7のように示される(本間, 2005). シンクロナイズドスイミングは, 体格面, 体力面, 心理面に備わる要素を技術で駆使し, さらに表現力といった芸術的要素を加えて最高のパフォーマンスを生み出す競技である. 最高のパフォーマンスを生み出すための中核の技術が, スカーリングやエッグビーターキックなどの推進技術と, 水中で姿勢を制御する基本技術である. これらの基本的な技術が備わっていなければ, 他の要素がどんなにすぐれていてもパフォーマンスに結びつけることは難しい. それゆえ, シンクロナイズドスイミングの競技力において, 推進技術と姿勢制御の基本技術は非常に重要な要素として位置づけられている. 特に推進技術は最小の努力で最大の効果を生むべきであるといわれている. なぜなら, 効率の良い推進技術は水上の身体の高さを獲得し, なめらかで余裕のある動作をもたらすからである (McGowan, 2006).

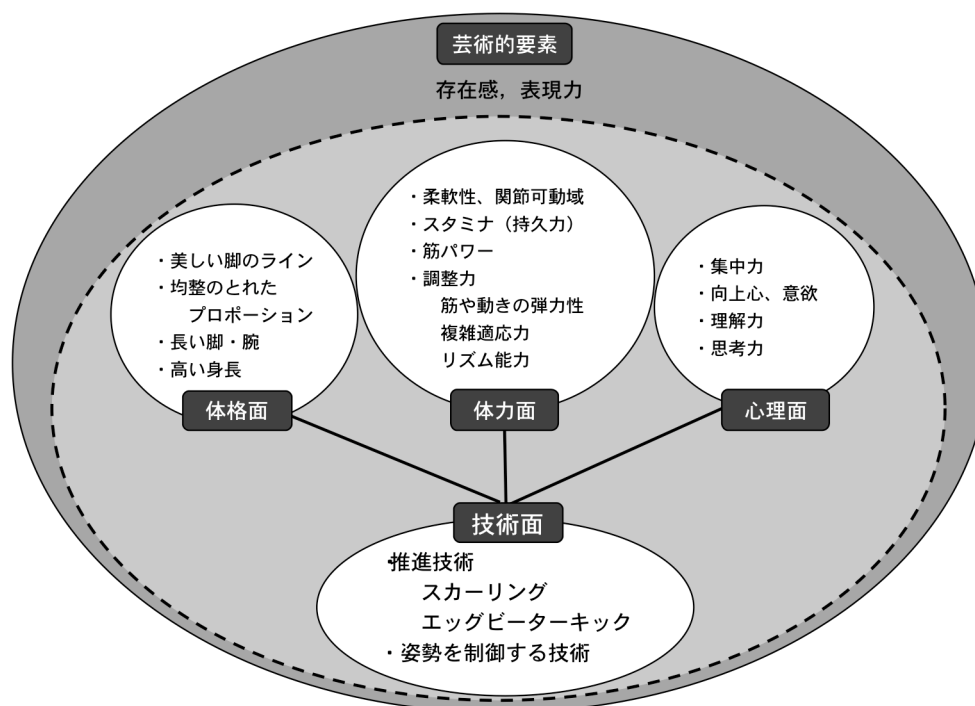


Figure 7 Factors to be elite synchronized swimmers (本間, 2005).

2.1.2 ルーティンにおける技術の分類

Figure 8 はチーム・ルーティン演技を構成している要素を動作別に分類したものである。図中のグレーで囲った部分はパフォーマンスを構成する主要な動作で、それらの遂行にはスクーリングとエッグビーターキックの推進技術が必須である。

Figure 8 のように、まずルーティンは、動作を行うエリアによって陸上動作とプール内での動作に大別される。陸上動作は4分間のチーム演技時間のうち最初の10秒以内であれば実施してもよいと規定されており、プール内での動作が演技全体の約96%を占める。プール内の動作はパフォーマンスを形成する表現動作と、それを行うための水中での移動・準備・処理を行う水中動作に分けられる。そして表現動作はスキルエレメントとハイライトエレメントに大別できる。スキルエレメントは腕や上半身の表現動作であるストロークまたはアームシーケンス、脚の表現動作であるフィギュアまたはハイブリッドフィギュア (Figure 9)、および動作と動作をつなぐトランジションから成る。ストロークは平泳ぎ、クロール、背泳ぎなどのシンプルな泳ぎのことである。アームシーケンスは、エッグビーターキックや各種キックを用いて行う腕の表現動作のことである (Figure 10)。しかし最近ではルーティンが多様化し、数人でフィギュアとストロークを組合せた動作や身体の一部を接触して行う連結動作等が増え、明確に分類することが難しくなっている。トランジションは、フィギュアからストロークへ、あるいは一つの動作から別の動作へ移る際のつなぎの動きである。ハイライトエレメントには立体的なアクロバティックムーブ (Figure 11) 注¹²と、浮き身でさまざまなパターンを万華鏡のように描く平面的なフローティングがある。

注¹² アクロバティックムーブは、リフト、スロー、スタック、プラットフォーム、ジャンプなど、他者の力を利用して水中から空中へ身体を上げる動作の総称である。2001年のルール改正によってアクロバティックムーブはチーム・テクニカルルーティンの規定要素のひとつに加えられ、高難度のアクロバティックムーブを水上に高く行うことが求められている。フリールーティンにおいてもチームやデュエット演技のハイライトとして、上位国はチーム演技中に3-5回のアクロバティックムーブを取り入れている (本間, 2007)。

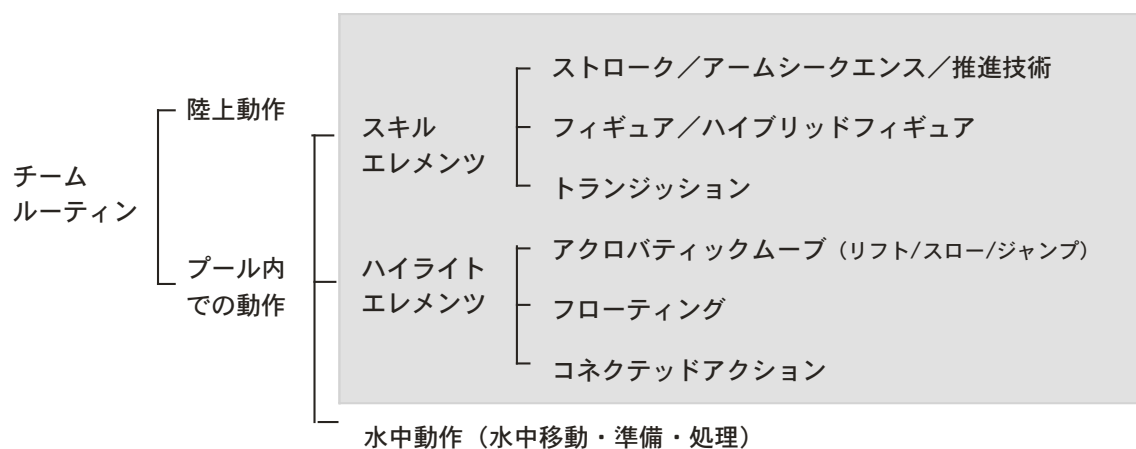


Figure 8 Skill components of a team routine (本間, 1994, 1997, 2000b を改変). Gray area indicates main components of performance, which used with sculling and eggbeater kick techniques.

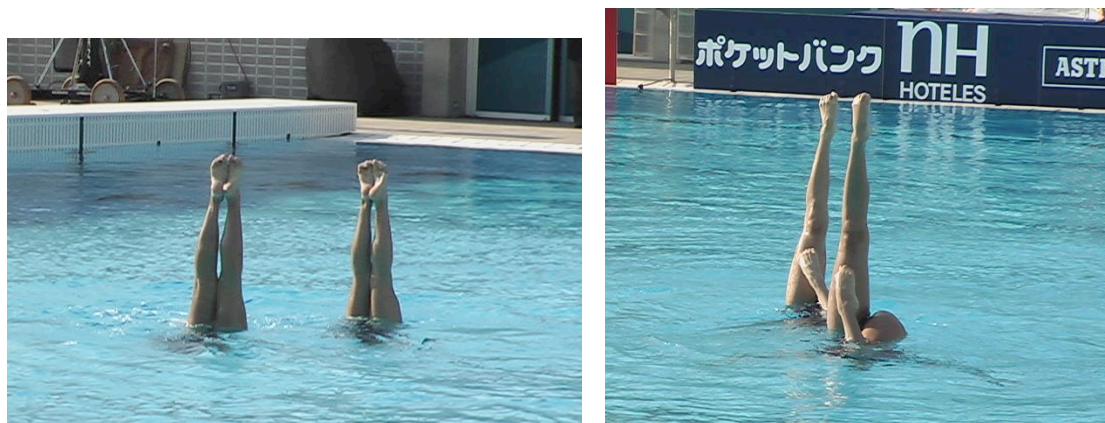


Figure 9 Hybrid figures using support scull in duet routines
(Left: photo by Kaneoka, K., 2004).

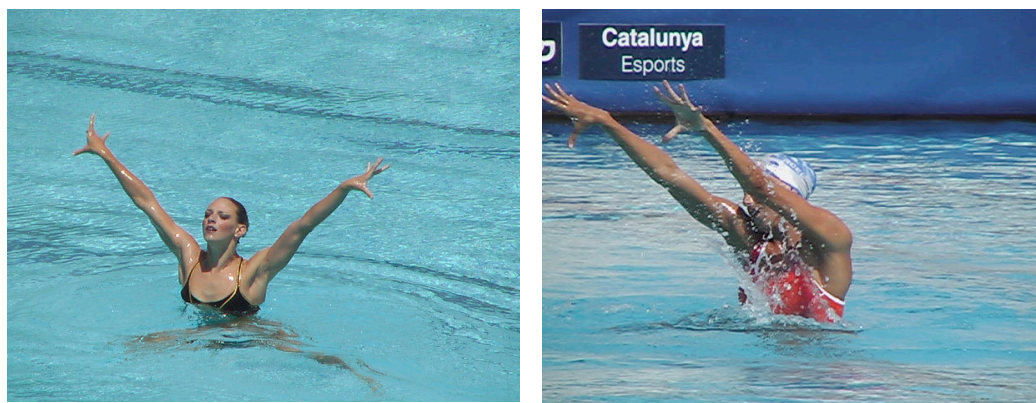


Figure 10 Arm sequence using eggbeater kick in solo routines.

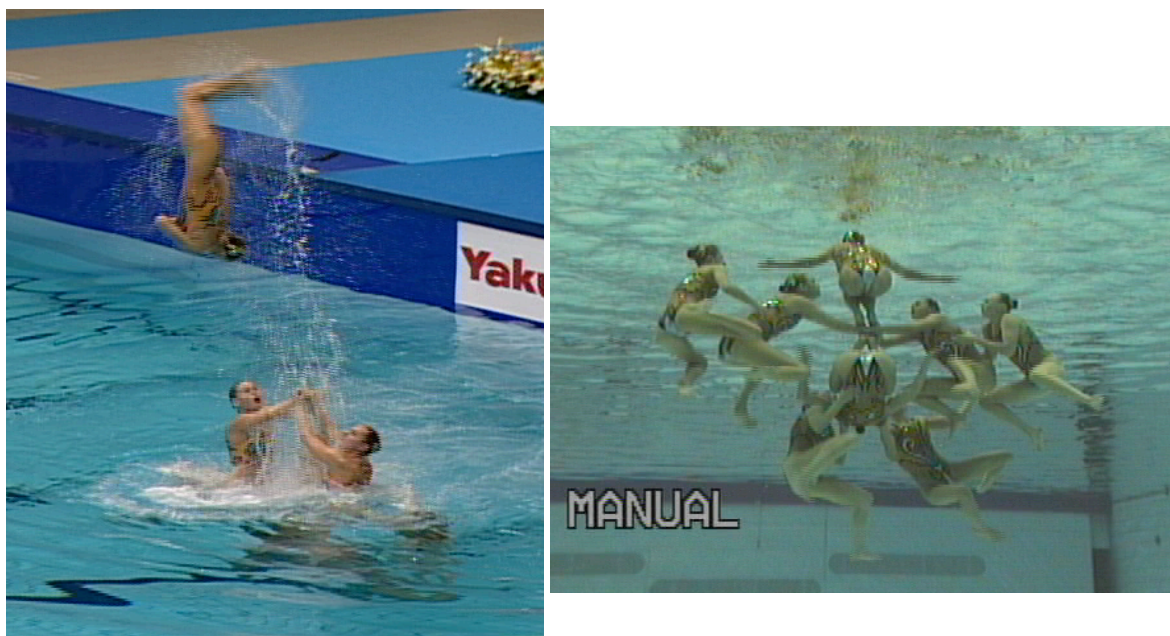


Figure 11 Acrobatic moves in a team routine.
Left: movements above the water surface, Right: underwater movements.

2.1.3 演技中のスカーリングとエッグビーターキックの役割

スカーリングは身体の支持や移動に用いられ、主に脚を水上に上げて行うフィギュアの際に身体姿勢を支持するために用いられる。本間（2000a）によれば、上向き水平姿勢で片脚を水上に上げたバレーレッグ姿勢（Figure 12）の最高位の水重荷重は平均体重 52 kg の女子選手で 8.5 kgf、両脚を水上に上げたバレーレッグダブル姿勢の最高位は 19.1 kgf、頭を下にして両脚を水上に上げた垂直姿勢（股の水位）では 14.8 kgf の荷重荷重がかかっている。これらの姿勢を保持するには、スカーリングを用いてその荷重荷重を支持するだけの鉛直上方への推進力を得なければならないことになる。とりわけ、サポートスカルは垂直姿勢で最大の高さを維持するために用いられる（Zielinski, 2001b）。また、スカーリングは身体を支持する役目のほか、推進、方向変換、回転などのさまざまな身体の動きに作用する重要な技術で（本間, 1992）、身体姿勢のバランスを保持することもスカーリングの役割のひとつである（Nesbitt, 1991）。姿勢を変化させたり、身体を移動させる際には、手首の角度を変えて手のひらに水を当てる方向を調整する。さらに、スカーリングは、ストローク（泳ぎ）^{注4}やエッグビーターキックにおいて多用される（本間, 1992；Nesbitt, 1991）。例えば、エッグビーターキックやサイドキックでのアームシークエンス^{注8}を行うとき、表現動作をしていない方の腕は水面下でスカーリングを行い、脚とともに支持力あるいは推進力として作用している（本間, 1992）。このときのスカーリングはフラットスカルで、腕は水面近くにおく。Nesbitt（1991）は高い競技レベルの選手においてスカルの支持力や推進力が不足した場合、エッグビーターキックを増加させ脚への負担が大きくなっていることをトレーニング時に観察しており、エッグビーターキック時にスカーリングの推進力の貢献が大きいことを示唆している。

エッグビーターキックはスカーリングと同じく身体の支持と移動がその役目である。エッグビーターキックは腕が自由になるため、アームシークエンスを行うのに最適な推進技術である（Zielinski, 2001a）。ある姿勢から別の姿勢への移行、あるいは別のストロークへの切り替えを助けるトランジション遂行時のテクニックとしても利用される（Lundholm and Ruggieri, 1976）。そして、エッグビーターキックを用いたアームシークエンスは、1994年のルール改正で新たに加えられたテクニカル・ルーティンの規定要素の一つに規定され、必須の課題となっている。課題内容は、エッグビーターキックを用いて両腕の水上動作を前方または横に移動しながら行うこととされており、遂行時の最大の高さ、姿勢の美しさ、移動のなめらかさ、スピードのあることが評価される。本間（2000a）によれば、両腕を水上に上げた

エッグビーターキック時の姿勢（脇の下の水位）の水上荷重負荷は平均体重52 kgの女子選手で13.6 kgfであり，ダブルアームシークエンスを行うときには，エッグビーターキックでその水上荷重負荷分の鉛直上方への推進力を発揮しながら，移動しなければならない．また，近年，急速に発展したアクロバティックムーブ（Figure 11）^{注12}において，水中でリフターやジャンパーを支える泳者はフラットスカルとエッグビーターキックを用いて水上の荷重負荷を支持しており，以前に増して大きな推進力を必要としている．



Figure 12 Ballet Leg position using flat skull.
Body in Back Layout position. Body extended with face, chest, thighs and feet at the surface. Head (ears specifically), hips, and ankles in line. One leg extended perpendicular to the surface.

2.1.4 演技中の水上身体高

近年、シンクロナイズドスイミングのルーティンをバイオメカニクスの的に分析し、定量化する試みがなされている（本間, 2003b; Homma *et al.*, 2003 ; Scientific Committee of the Japan Swimming Federation, 2001）。この分析では、ルーティンを2つの観点から分析している。ひとつはプールパターンに関する分析（移動軌跡, 移動距離, 移動スピード, デュエットでの選手間距離等）、もうひとつは高さ（水上高）に関する分析（テクニカル・ルーティンの規定要素の水上高, フリー・ルーティン中の共通の動作の水上高等）である。本間ほか（2002）、Homma *et al.*（2003）はこれらの分析結果が実際の競技成績とどのようなつながりがあるのかをみた結果、2001年福岡世界水泳選手権でのテクニカル・ルーティンにおいて、演技中の最高水上高値とテクニカル・ルーティン得点との間に有意な相関関係（ $r = 0.675$, $p < 0.01$ ）が認められたことを報告している（Figure 13）。また、ソロ、デュエットにおける最高水上高を、世界選手権上位12ヶ国と13位以下で比較したところ、上位12ヶ国と13位以下との間に有意な差がみられたと報告している（Figure 14）。このように、主に技術面を評価するテクニカル・ルーティンにおいては、「高さ」が重要なファクターであり、得点と関係が深いことが明らかにされている。身体の高さを上げるには、高い推進力を得るためにスカーリングやエッグビーターキックの推進技術が重要となる。

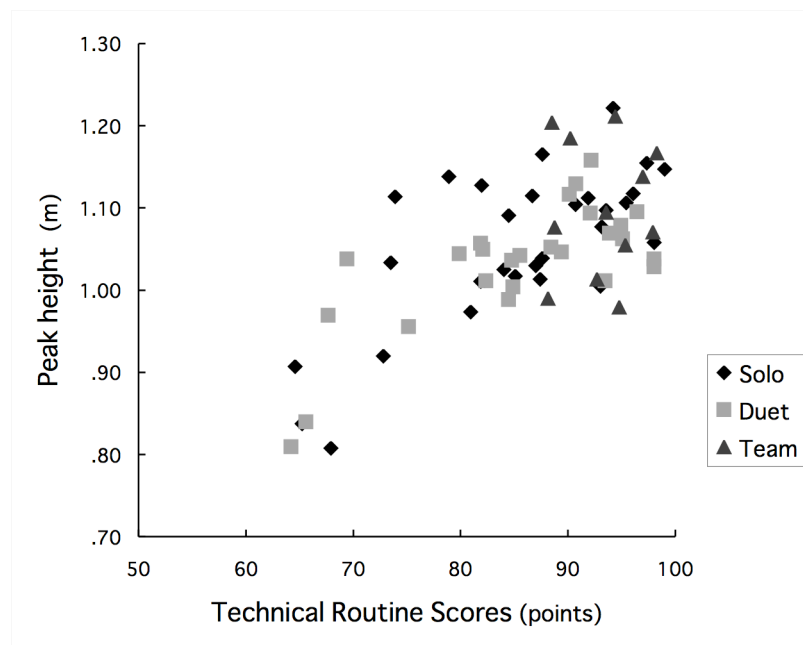


Figure 13 The relation between peak height and technical routine scores for all solo, duet and team technical routines (Homma *et al.*, 2003).

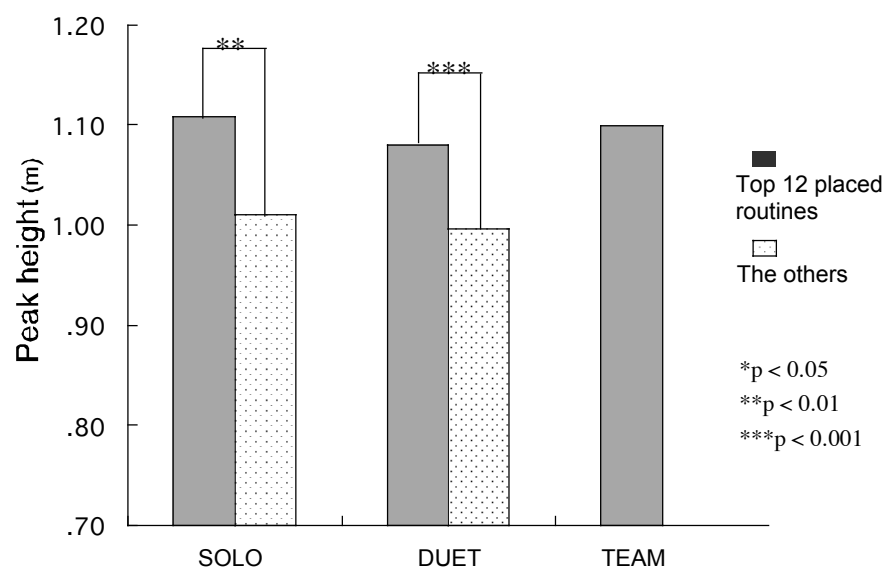


Figure 14 Comparison of the top 12 routines and others in peak height above the surface for Solo, Duet and Team technical routines in synchronized swimming at the 9th World Swimming Championships in Fukuoka (Homma *et al.*, 2003).

2.1.5 スカーリングとエッグビーターキックの指導上の位置づけ

スカーリングとエッグビーターキックは、すべてのシンクロナイズド選手が最初に習う技術である (Nesbitt, 1991; Preston, 1983)。アメリカと並んでシンクロナイズドスイミング競技発祥の地とされるカナダには、古くから Star Program という進級テストシステムがある。この Star Program の最初の段階 “Star 1” のテスト課題は数種類のスカーリング（フラットスカル、ヘッドファーストスカル、フットファーストスカル）である (Synchro Canada, 2002)。そしてエッグビーターキックは次の段階の “Star 2” のテスト課題に含まれている (Synchro Canada, 2002)。このことからわかるように、スカーリングとエッグビーターキックは段階的な指導の中で、もっとも基本の技術として位置づけられている。同様に、2005 年に日本で始まったシンクロバジテストという進級テストシステムにおいても、最初の段階の課題にスカーリングとエッグビーターキックが含まれており、選手が最初にクリアしなければならない課題として設定されている。

シンクロナイズドスイミングのオリンピックメダリストに対する興味深い研究結果（本間, 2003a）がある。1996 年アトランタオリンピックと 2000 年シドニーオリンピックのメダリスト 7 名に、ジュニア期に習得しておくべき基本的な技や動きは何かと質問紙調査をしたところ、「柔軟性」と回答したものがもっとも多く、そのほかに「基礎体力」、「基本の泳ぎ」、「立ち泳ぎ」、「スカーリング」、「身体の締め方、姿勢」という回答が複数ずつみられた。「立ち泳ぎ」と「スカーリング」を挙げた理由として、ある選手は、「一度身に付いた動きを後で修正するのは非常に難しいので、子どものうちに正しい技術を指導することが非常に重要である」と述べている。また、別の研究（本間, 1992）の中で、1984 年ロサンゼルスオリンピックのメダリストは「スカーリングは特にフィギュア種目やルーティン中のハイブリッドフィギュアにおいて演技の完遂度に大きく関与する」と述べており、世界トップランクの選手らがスカーリングとエッグビーターキックを非常に重要な技術としてとらえていたことがわかる。

指導教本（図司, 1984）においては、スカーリングは「順序を追って正しく練習しなければ、フィギュアの習得に困難をきたすようになる」と述べられ、スカーリングの正しい技術の習得の重要性を強調している。アメリカナショナルコーチの Nesbit 氏は、「スカーリングはシンクロにおいてももっとも基本のスキルであることから、フィギュアトランジションの指導に入る前に、各身体姿勢でのスカーリングスキルが自動化されるくらい、スカーリングの練習に時間を費やすべきである」と述べ、サポートスカルはすべてのスカルの中で、おそらくも

っとも難しく重要なものであると位置づけている (Nesbitt, 1991). 海外におけるシンクロナイズドスイミングの指導書としてもっとも古い出版物と思われる “Synchronized Swimming” (Yates and Anderson, 1958) においても, 「シンクロナイズドスイマーはこの重要な技術なしでは動きやバランスをコントロールすることができないので, スタンツ (現在のフィギュアのこと) を実施しようとする前にスカルの方法を学ばなければならない」とスカーリングの習得の重要性が述べられている. また, 我が国のシンクロナイズドスイミングに関連する最初の書物である「図解組み泳ぎ」(上野, 1956)^{注13}においても, 押手背泳(おしではいえい)という名前でスカーリング(スタンダードスカル)が紹介され, 立ち泳ぎの技術解説がなされている. これより, エッグビーターキックとスカーリングは, 古くからシンクロナイズドスイミングに不可欠の技術であると位置づけられていた.

注13 我が国にシンクロナイズドスイミングが初めて紹介されたのは昭和29年(1954年), そして初めてのシンクロナイズドスイミング競技会は昭和31年(1956年)に開催された. 「図解組み泳ぎ」は, 1956年に発行された我が国のシンクロナイズドスイミングに関連するもっとも古い指導書である. この本の巻末には, 資料として「シンクロナイズド・スウィミング競技規則(案)」が掲載されており, 我が国のシンクロナイズドスイミング幕開け時に書かれた.

2.1.6 サポートスカルの誕生

サポートスカルは 1960 年代にアメリカで考案された比較的新しい技術である。Yates and Anderson 著 (1958) の“Synchronized Swimming second edition”という指導書には、フラットスカルのテクニックが解説されているが、現在の形のサポートスカルの記述や写真はみられない。この本に紹介されている写真 (Figure 15) をみると、クレーン姿勢^{注6}や垂直姿勢の保持は、腕を頭上に挙げ、肘を曲げて手首を伸展させて手のひらを底に向けた状態でのスカーリングを用いており、水上に足首から膝下くらいまでしか上げることができなかった。Rackham 著 (1968) の“Synchronized Swimming”，および Jones and Lindeman 著 (1975) の“The Components of Synchronized Swimming”にもまだ現在の形のサポートスカルの記述はみられない。“The Components of Synchronized Swimming”では、Figure 16 の左図のスカーリングを中間位の高さを保持するための“Mid depth support sculling”と名付けている。このスカーリングは、腕を身体の横の線 (lateral line) 上に位置し、肘を曲げ伸ばしして前腕を上下に 45°から 80°までスイングすると述べられている。また、Figure 16 の右図のスカーリングは低い高さを安定して保つためのものとされ、“Bottom depth support sculling”と名付けられている。肩を外転させて腕を頭上に上げ、身体の横の線 (lateral line) 上に位置し、手首を過伸展させ前腕から先を横 8 の字に動かすと記されている。この本ではこれらのスカーリングが身体を保持する働きがあることからサポートスカーリング (support sculling) と命名しているが、本研究で定義した腕を胴体の前または横に位置してスカルする現在のサポートスカルとは腕の位置が異なる。Figure 16 の右図のスカーリングは、今日、オーバーヘッドスカルと呼ばれ、トワール (垂直姿勢で同じ高さを保ったままでの素早い 180°回転) やスピン (垂直姿勢での下降または上昇回転) の技術遂行時に用いられている (Table 1)。Figure 16 では水面上に足首までしか出せておらず、低い高さを保つためのものと記されているが、現在は膝から大腿上部の間の高さで保持できるほどの推進力が得られるようになっている。

シンクロナイズドスイミングの指導書や解説書の中で、最初に現在の形のサポートスカルについての記述がなされているのは、Lundholm and Ruggieri 著 (1976) の“Introduction to Synchronized Swimming”である。この本では、腕を身体の前で約 90°に曲げてスカルする現在のサポートスカルが解説されている。他方、アメリカのシンクロナイズドスイミングの生みの親とも言われている Billy Mackellar 女史へのインタビュー資料 (元好, 1983) によると、1) サポートスカルは 1960 年頃まで知られておらず存在しなかったこと、2) Billy Mackellar 氏の

教え子の Barbara Burke が練習中に無意識にそのような手をかいているのを氏がビデオを見て発見したこと、3) サポートスカルによって高さを得られ、保持力が得られるようになったこと、4) シンクロナイズドスイミングの技術の進歩の背後にはサポートスカルの発見があったことが示されている。

これらのことから、フラットスカルはかなり古くから、そしてサポートスカルは 1960 年代にアメリカのある選手が偶発的に考案したものと考えられる。サポートスカルの誕生後、垂直姿勢で大腿中央まで水上に上げられるようになり、今日では臀部が見えるほど高く保持できるようになった。サポートスカルの発明が、今日のシンクロナイズドスイミングの技術の発展に大きく貢献したといえる。

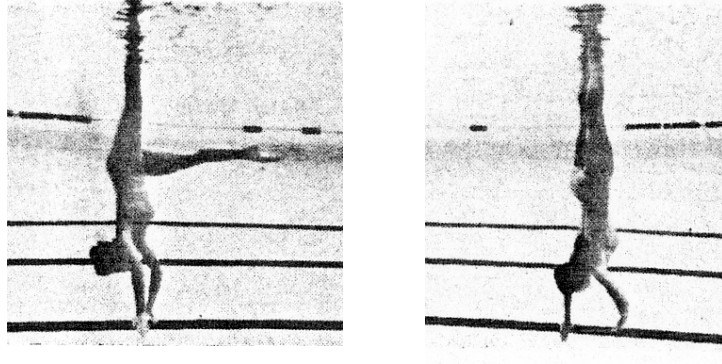


Figure 15 Sculling in Crane position (Left) and Vertical position (Right) (Yates and Anderson, 1958).

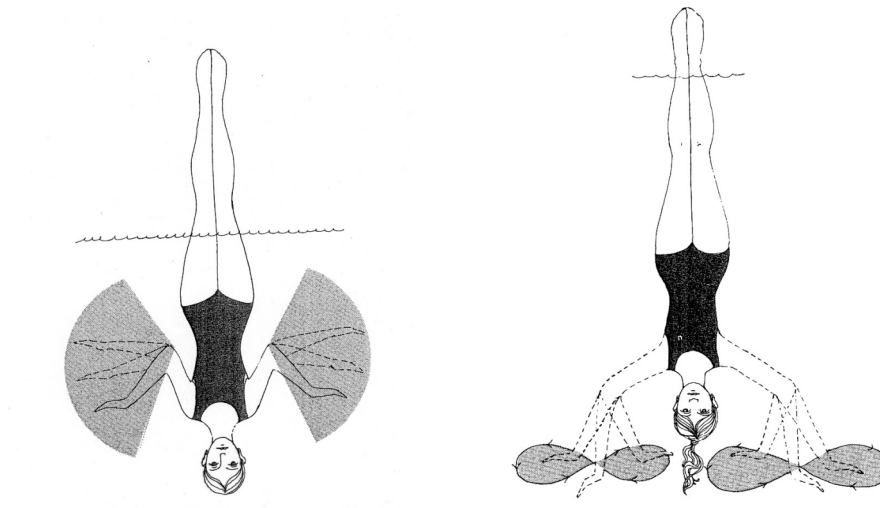


Figure 16 Sculling for mid depth (Left) and for bottom depth (Right) in Vertical positions (Jones and Lindeman, 1975).

2.2 指導書における推進技術の技術解説

2.2.1 指導書におけるスカーリングの技術解説

スカーリングおよびエッグビーターキックの技術解説および指導観点を記述した文献は数多くみられる (Adamson *et al.*, 1985; Babb, 1989; Davis, 1986; Forbes, 1989; 本間, 1992; Jones and Lindeman, 1975; 金子ほか, 1979; Lundholm and Ruggieri, 1976; 元好, 1986, 1987, 1990; Muir, 1981a, 1981b; Nesbitt, 1991; Rackham, 1968; Reeves, 1975; 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会, 2002; Zielinski, 2001a, 2001b, 2001c; 図司, 1984, 1990, 1993, 2005). どの指導書においてもほぼ同じような技術解説がみられる. Table 4 および Table 5 は, 1956–2005 年にアメリカ, カナダ, 日本で発行されたシンクロナイズドスイミングの指導書から, フラットスカル, サポートスカルについての記述を抜き出してまとめたものである.

もっとも代表的な指導書である Synchro Canada^{注14} 発行の “Star Program Manual” (2002) には, スカーリングの一般原則, フラットスカルおよびサポートスカルについて次のように記述されている: スカーリングの一般原則は, 1) 水面と平行に動かす, 2) 外方向と内方向のスカルともに同じ圧力でかく, 3) 動作はスムーズでしっかりと途切れないようにかく, 4) 手はフラットに保ちカップ状にしない, 5) 指は揃える, 6) 上腕は固定する. フラットスカルは, 1) 手首と指先は水面から同じ高さでスカルする, 2) 前腕と手はユニットで動かす, 3) 上腕は固定, 4) 手は腕のライン上におく, 5) インスカルは腰の方向へ小指を少し押す, アウトスカルは腰から親指を離して押す, 6) 姿勢保持のために十分な力とスピードを用いる, 7) スカルの範囲はおおよそ 25–30 cm, 8) 指の先はインスカルのときに臀部に触れる. サポートスカルは, 1) 肘から肩までの上腕を固定し, 身体に近づける, 2) 前腕は腰の高さと水平, 手はフラット, 手首と指先は同じ高さ, 手のひらは水底に向ける, 3) インとアウトのスカルの傾きと圧力は同じにする, 4) アウトスカル: 前腕と指先が直接横を向くまで腕を外へかく, そのとき親指は下方に回し手のひらをフラットにする, インスカル: 両方の指が触れるまで, 小指を横下方に, 手のひらを返して開始位置に戻す.

他の指導書をみても同じような内容が記述されており, フラットスカルでは, 上腕を固定し肘から先でスカルすること (DeNegri and McGowan, 2005; Muir, 1981a, b; Nesbitt, 1991;

注14 Synchro Canada はカナダのシンクロナイズドスイミングの競技団体組織名.

Reeves, 1975), 肘を外に張って腕は同じ水平面上でアウトとインに横に動かすこと, 手のひらに傾きをつけてスカルすることが共通して書かれている. そして, 手は横 8 の字を描くことが複数の指導書で解説されている (DeNegri and McGowan, 2005; 本間, 1992; Lundholm and Ruggieri, 1976; 元好, 1990; Yates and Anderson, 1958; 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会, 1990, 2002; Zielinski, 2001c, 2005; 図司, 1990, 1993). また, サポートスカルについては, 肘を直角に曲げてかくこと (Lundholm and Ruggieri, 1979; 金子ほか, 1979; 図司, 1984, 1990, 1993), 身体の真横から前方に約 60°までの範囲をスカルすること (Zielinski, 2001b), 手は横 8 の字を描くこと (DeNegri and McGowan, 2005; 本間, 1992; Lundholm and Ruggieri, 1976; Zielinski, 2001c, 2005 ; 図司, 1993) が指導書で述べられている.

Table 4 Description of the flat scull techniques in synchronized swimming coaching manuals

発行年	指導書・雑誌名	著者・編者	名称	身体姿勢	腕の位置と動き
1956	図解組み泳ぎ	上野徳太郎	押手 (おしで)	体を伸ばして水面に仰向けになるが、普通の競泳背泳の場合よりも、頭部は少しおこしぎみでよい。あまり腰が落ちないように注意しなければならない。目は後方を見るようにする。	両手の指を軽く揃えて体の両側で、水を下と脚の方向にむかって押すようにする。親指が体の近くにあるように、腰のあたりで手のひらを下と脚の方にむけ、手首を使って手のひらで水を押すようにする。手首のところを中心として手先を左右に振り動かして水を押すようにする。両手首の動作を間断なく同時に、同じようにして水を押すと、これによって体を浮かすことと、両脚の動作を助けて、頭のほうに進行する力とが得られる。
			頭のほうに進まない 押手背泳		進まない押手背泳をするには、両手のひらで水を押すかげんを変え、上体をただ浮かしておくだけのよう、ほんの軽くヒラヒラと働かせるばかりでよい。
			バタ足なしの 押手背泳		押手背泳が熟練したのちには、バタ足をやらずに両脚を揃えて軽くのばしたまま、押手だけで頭のほうに進む泳ぎもできるはずである。
1958	Synchronized Swimming second edition	Yates, F. and Anderson, T.W.	スカーリング	水面上向きに寝て、身体を伸長させ、手は腰のところにおく。	水面上向きに寝て、身体を伸長させ、手は腰のところにおく。 手を身体から離すように押し出し、手のひらを外に向け小指を上げる。 手のひらを内側に返し、小指を下げて、身体の方へ手を戻す。 1回のスカーリングで手が8の字を描く。手首はしなやかに保つ。指はリラックスさせる。 指が常態でリラックスしていれば、スカーリングはより効果的である。指が離れた場合、くっついたときよりも表面張力が大きい。
1968	Synchronized Swimming	Rackham, G	スカーリング		手は手首を支点にして内方向と外方向に動かす。動きは車のワイパーに似ている。指は伸ばして閉じる。
1975	The Components of Synchronized Swimming	Jones, F.L. and Lindeman, J.I.	スタンダード スカル	上向き水平姿勢。 腕は胴体の横、肩はガードル固定。	・腕と胴体のなす角度は45°またはそれ以下 ・前腕は伸ばしながら内方向に回し、前腕を曲げながら外方向に回す ・前腕が回るとき手首は最大掌屈
1976	Introduction to Synchronized Swimming	Lundholm, J. and Ruggieri, M.J.	ステーションナ リースカル	上向き水平姿勢	両手は腰の近く。肘は身体の方へ動かす間90°に曲げ、身体から離す動作の間は肘を伸ばす。手と手首は手のひらができるだけフラットを保つようにして8の字モーションを描く。バレーレグシングルを上げるときのようにもっと力が必要になる場合は、スカルのスピードと手のひらの角度を増やす。
1979	シンクロナイズドスイミング初心者指導の手引	金子正子ほか 財団法人日本水泳連盟シンクロ普及委員会編	静止	上向き水平姿勢	手首を平らにしたまま甲を上にしてヒップの横、水面近くに手をおき、肘を軽く外に張る。その型で肘から指先までを舟のオールのように動かす。(外から内へ、内から外へ)やわらかく、しかも連続動作で横に水をおさえるようにかく。
1981	Sculling and Skills for body positions. SYNCHRO	Muir, D.	身体姿勢をより良く保つためのスカーリングとスキル	上向き水平姿勢：すべての筋は伸張されなければならない。	スカルは平面で、肩を後ろに引き、上腕を比較的固定させる。前腕は、腰から10-12インチ、水面下6-8インチでかき、親指はわずかに腰の下に達する。親指はインスカルで持ち上がり、アウトスカルで人さし指が持ち上がる。 良いテクニックとは、1) スカーリングの一定した均等のテンポと圧力、2) 各姿勢でのスカーリングの適度の動作幅と深さ、3) 各姿勢での適度な圧力の応用 一般的に、水面上により重量が加わると、スカーリングの幅が小さくなり、テンポが速まり、圧力が増し、要求される高さに必要なスカーリングの深さ(と圧力)を選択することになる。
1984	シンクロナイズド・スイミング	図司早江子、 財団法人日本水泳連盟シンクロナイズド・スイミング委員会、 科学技術委員会編	スカーリング 静止	上向き水平姿勢： 顔・胸・腹・もも・足先を水面上に乗せ一直線に浮く。両足をそろえて、甲・足先を伸ばす。両肩は力を抜き軽く背中のほうへ引き。頭頂・両耳を完全に水中につける。	肘は軽く外側に張り、手の位置は腰の横で水面より20cmぐらい下で動かす。 腰の横から外側へ水を押し出すときで、小指の側が45°ぐらいあがり、親指の付け根から水を押し出す要領である。外側に押し出した手を内側にもどすときは、小指の反りをもとし親指の付け根から手首をフラットに近い上体にもどす。もどすときに水を内側にかき込まないように注意する。

1986	Tips on ballet legs. SYNCHRO	Davis, C.	バレレグ スカル	バレレグシン グル動作	<p>a. 親指が腰骨(hip bones)の数インチ下で腰骨(hip bones)の後ろに触れるまで肘を曲げる</p> <p>b. スカルは、インスカルのとくに腰の下を切るように深くかく。身体姿勢とラインを崩さずに、手をより深くして、肩を外に回し、前腕を内に回す。</p> <p>c. スカル動作は肘から指先までだけを動かす。肩を締め、肘を緩める感じにする。</p> <p>d. 手のひらは水底に対してフラットに保ったままで、長軸回りの手首の柔軟性をたくさん使う。インスカルのとくに指の先を内に向け、アウトスカルのとくに小指で外に引っ張る。肘からスイングする。</p> <p>e. 前腕、手のひら、指先のすぐ下の水の圧力を利用する。</p>
1987	Synchro Technique. SYNCHRO JAPAN	元好三和子	スタンダード スカル	上向き水平姿勢、 バレレグ姿勢	<p>チェックポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・肘の張りが十分であるかどうか。肘が伸びすぎているものが多い。 ・肘が落ちすぎているかどうか。脇が締めすぎのものが多い。 ・手首の締めが十分であるかどうか。手首のスナップをきかせたり、余分な外・内への返しは不必要である。 ・全身がストレッチングされているかどうか。特に首から上体にかけての伸び。 ・左右のスカルの動きがバランスよく対照的であるかどうか。スカルの広さ・深さ等を含む。
1990	シンクロナイズドスイ ミング初心者指導の手 引(改訂版)	関司早江子, 財団法人日本水 泳連盟シンクロ 委員会編	静止	上向き水平姿勢	<p>手首と指先が一直線になる。手と手首は細長い横8の字型(∞)の動きをする。</p> <p>肘が手首より下がりにすぎないようにする。肘は90°に曲げて外に張る。手の位置は腰の横で水面より20cmくらい下で動かす。上腕と両肩を結ぶ線との角度はおおよそ45°。スカルの範囲(肘を支点にして前腕が動く範囲)は個人差があるが30-45°くらい。</p>
1990	シンクロ入門。 水泳の指導	元好三和子	スカーリング	上向き水平姿勢	<p>肩と肘を固定し、肘を支点にして、前腕と手で水をつかむ。肘を外に張り、深く落ちないようにする。手はしりの下から、肘がまっすぐに伸びきる直前までの範囲を動かす。</p> <p>外側へかくときは、手のひらを外側へ45°向けて水を外へ押し出す。内側へかくときは、手のひらをほんの少し内側へ向けてかき戻す。手は横8の字を描くように動かす。手首は自然にやわらかく動くが、必要以上にスナップをきかせないようにする。</p>
1992	水泳における手ーシ ンクロナイズドスイミ ングー JJSS	本間三和子	静止	上向き水平姿勢	<p>肘を張り、手を腰の横で横方向(外⇄内)に動かす。手先で横8の字をかくようになめらかに水を練る。</p>
1993	Coaching Synchronised swimming Figure Transitions	Gray, J.	すべての スカル		<ul style="list-style-type: none"> ・手をわずかにカップ状にする。とても大きいビーチボールを持っている感じ。手はビーチボールと同じ形状を用いる。外方向と内方向へのスカルサイクルの動きのスピードは一定。 ・両手は同じ深さ。 ・外方向と内方向の一定の水圧。 ・上腕と肘はどちらかといえば固定(早期の練習では肩から動く)。 ・それぞれの動きの先端で新しい角度に手のひらを切り替える。 ・規則的なリズムを維持する。
1993	Coaching Synchronised swimming Figure Transitions	Gray, J.	フラット スカル	上向き水平姿勢	<ul style="list-style-type: none"> ・肘からスカルする ・上腕を比較的静止させる ・肘をわずかに曲げる ・手は水を乱さない十分な深さで水を押す ・手首は水平のフラットスカル
1993	水泳コーチ教本	関司早江子, 財団法人日本水 泳連盟編	静止の スカーリング	上向き水平姿勢	<p>身体の中から外側へ水を押し出すとき、小指の側を30-45°ぐらいいち上げ、親指のつけ根から水を押し出し、次に小指の反りをもどし親指のつけ根から手首をフラットに近い上体にして戻す。戻すときに水を内側にかきこみすぎないように注意する。手と手首の動きは、横へ細長い8の字型である。</p> <p>肘が手首より下がりにすぎないように。肘は軽く外側に張り、手の位置は腰の横で水面より20cmくらい下で動かす。腕は肩を45°くらい外転させるようにし、肘を曲げた状態から前腕を30-45°の範囲で横に動かす。</p>

2001	Figure Fundamentals A Simple Approach to Figure Success	Zielinski, D.	バックスカル	上向き水平姿勢	肘はプール底に向けて押さえる。肘と手の深さはおよそ尻の下位置におく。肘は腰の横の外に手を置いて広げる。圧は背中と上腕を横切るように手と前腕でプール底の方に向ける。右肘から左肘までの広いベースは、最小の努力で身体を支持し、身体バランスを取ることを手助けする。スカールリングは非定常の水の中で、バランスを保ち、一定の位置を保持するために用いられる。すなわち、水は身体に影響する動作と流れである。 インスカルでは、前腕と手を腰の方向にスカールする。手は大腿に触れない。手の胴体の方向への回転は最小にする。アウトスカルでは、前腕と手を肘が伸び切る直前まで腰から外へスカールする。手の胴体の外への回転は最小にする。
2002	シンクロナイズドスイミング競技者育成プログラム一貫指導教書	財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会	静止	上向き水平姿勢	小指の外側を少し持ち上げ、親指の付け根で水を横外側に押し出すように水をかき、次に親指を少し持ち上げて、身体をのびにのびてくる。指先と手首の動きは横長い8の字を描く。
2002	Star Program Manual	Synchro Canada	フラット スカール	上向き水平姿勢	General Sculling Rules : 水面と平行に動かす。水に対する圧力は外方向と内方向のスカールともに同じ。動作はスムーズで、しっかりと、途切れない。手はフラットに保ち、カップ状にしない。指は揃える。上腕は固定する。 Flat Scull : 手首と指先は水面から同じ高さでスカールする。前腕と手はユニットで動かす。上腕は固定。手は腕のライン上にする。インスカル : 腰の方向へ小指を少し押す。アウトスカル : 腰から親指を離して押す。姿勢保持のために十分な力とスピードを用いる。スカールの範囲はおおよそ25-30cm。指の先はインスカルのときに臀部に触れる。
2005	水泳コーチ教本第2版	関司早江子, 財団法人日本水泳連盟編	静止の スカールリング	上向き水平姿勢	肘が手首より下がりにすぎないように。肘は軽く外に張り、手の位置は腰の横で水面より20cmくらい下で動かす。腕は肩を45°くらい外転させるようにし、肘を曲げた状態から前腕を30-45°の範囲で横に動かす。

Table 5 Description of the support scull techniques in synchronized swimming coaching manuals

発行年	指導書・雑誌名	著者・編者	名称	腕の位置と動き
1958	Synchronized Swimming second edition	Yates, F. and Anderson, T.W.	スカーリング	(現在のサポートスカル形状とは異なる。垂直姿勢だが脚の水位は膝と足首の間の任意の高さ) 腕はほぼまっすぐに伸ばし、手は顔の前に置く。
1975	The Components of Synchronized Swimming	Jones, F.L. and Lindeman, J.I.	Inverted modified L, Inverted T	(現在のサポートスカル形状とは異なる) 水位の低いときはInverted modified Lスカル、中間水位のときはInverted Tスカルを用いる。Inverted modified Lスカルは手を頭上に上げ、肘を曲げて手のひらを底に向けてスカルする。Inverted Tスカルは腰の横から頭上までを上下にスカルする。
1976	Introduction to Synchronized Swimming	Lundholm, J. and Ruggieri, M.J.	サポートスカーリング	肘は約90°に曲げウエスト近くにおく。前腕と手のひらは8の字型を描くように、最初に身体の中心線から遠ざけ、そのあと引き戻す。
1979	シンクロナイズドスイミング初心者指導の手引	金子正子ほか 財団法人日本水泳連盟シンクロ普及委員会編	サポートスカル	肘を直角に曲げ脇を締める。手のひらはフラットカリバース気味にして底へ向ける。その状態で肘を動かさないようにして、拇指側からリードするように水を押さえながら、内から外へ、外から内へとスムーズに連続的にかく。かく範囲はウエスト前から45-60°位の間がよく、小さすぎても、大きすぎても肩に動きを生じ体のバランスを崩す原因となる。
1981	Sculling and Skills for body positions. SYNCHRO	Muir, D.	サポートスカル	サポートスカルはほぼ腰の正面からわずかに腰の後ろまでの幅をかく。圧力は中程度で中-高強度レベルのテンポである。
1984	シンクロナイズド・スイミング	関司早江子, 財団法人日本水泳連盟シンクロナイズド・スイミング委員会, 科学技術委員会編	サポートスカル	<ul style="list-style-type: none"> ・肘を直角に曲げて前腕から指先までを一直線にし腰の前に保つ。このとき手のひらは水底を向ける。 ・肘を支点にして腰の前から親指が真横にいくまで横に動かす。 ・内(腰の前)から外(腰の横)へ手のひらの水を押し出すが、外から内にもどすときは水を逃がして中指からもどすようにするとなめらかな連続動作ができる。 ・できるだけ往復とも同じ道を通る。 ・外側にかき出すときは親指側のヘリを少しさげて、親指の付け根から水を押し出すようにし、内側にもどすときは小指のヘリを少しさげて中指からもどす気持ちが必要である。水を押さえる力は、内⇒外>外⇒内である。
1986	Synchro Technique. SYNCHRO JAPAN	元好三和子	サポートスカル	肘、上腕はほぼ固定される。肘は定位置に保たれ、前腕は肘を中心として動く、前腕と手は一つのもの(1本)として動く。手のひらは常にプールの底と向かい合う。垂直姿勢では、腰の線からおおよそ30°前方まででスカルする。ペントニー、あるいは他の垂直姿勢以外のポジションでは、もうすこし前方までスカルする。腕と手首は、OUTスカルで外側にひねられ(回外運動)、INスカルで内側にひねられる(回内運動)。各スカルの最後のところで約45°のほどよい角度がとられる。腕と手のひねりの角度は、どちらのスカルにおいても45°以内とすべきである。ほどよい外側へのひねりは、肘が身体から少し離れた定位置(脇にグレープフルーツをはさめるくらいの広さ)に保つ。INスカルで、過度に手首に角度をつけるのは好ましくない、手首は支持基盤を最大限にするため前腕と同じライン上におくべきである。過度の手首の角度は支持基盤を崩すのみでなく、潜在する力を発揮できなくする。上腕は、特に三頭筋をきつく締める。前腕はきつく締めない。
1990	シンクロナイズドスイミング初心者指導の手引(改訂版)	関司早江子, 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会編	サポートスカル	<ul style="list-style-type: none"> ・肘を直角に曲げて前腕から指先までを一直線にし腰の前に保つ。このとき手のひらは水底を向ける。 ・肘を支点にして身体の中心から90-120°ぐらいまで横に動かす。 ・内(腰の前)から外(腰の横)へ手のひらの水を押し出すが、外から内にもどすときは水を逃がして中指からもどすようにするとなめらかな連続動作ができる。 ・できるだけ往復とも同じ道を通る。 ・外側にかき出すときは親指側のヘリを少しさげて、親指の付け根から水を押し出すようにし、内側にもどすときは小指のヘリを少しさげて中指からもどす気持ちが必要である。水を押さえる力は、内⇒外>外⇒内である。
1992	水泳における手ーシンクロナイズドスイミングー. JJSS	本間三和子	サポートスカル	肘をウエストの横にセットし、肘をピボットにして前腕を外⇒内に横方向にスカルする。手先は横8の字を描くようにする。スカルする範囲は身体姿勢によって多少異なるが、一般的には両手がおへそ前で触れる中心から、肩関節が後方へずれない範囲、つまりボディの横までをかく。

1993	水泳コーチ教本	関司早江子, 財団法人日本水泳 連盟編	サポ ート スカル	上腕は身体の近くにあり、前腕（指先まで）は肘で90°に曲げ水面に平行。手首は固定し、フラット。手のひらはプール底を向く。スカーリングの位置はみぞおちの周辺。両手は身体の中心部より外側へ90-120°くらい。上腕はあまり動かさない（脇をあまりあけない）で、肘から動作する。前腕から指先まではプール底に平行に、中心から外側へ手のひら、前腕上にある水をなめらかに運搬するように横8の字を描く。
1993	Coaching Synchronised swimming Figure Transitions	Gray, J.	サポ ート スカル	<ul style="list-style-type: none"> ・前腕を水面と平行にするように肘を曲げる。 ・スカーリングの動きの練習に入るまでに、身体を締めて上腕を用いてスカルする。スキルの上達にともなって上腕を胴体から離していく。脇にグレイプフルーツをはさむ感じ。 ・手のひらはプールの底に向け続ける。 ・外方向の動作の外側で手のひらを返す。肘から回す。 ・内方向の動作で、手のひらをフラットにする。これを気をつければ、自然な動きになる。
2001	Figure Fundamentals A Simple Approach to Figure Success	Zielinski, D.	サポ ート スカル	<p>肘は身体の前面と後面の中央のライン上に置き、身体から約6-8インチ離してセットする。指先から指先までの広いベースが支持のために役立つ。サポートスカルをする間、手と前腕で均等に圧をかける。前腕の動きは一定でスムーズであること。より高い位置に身体を保持するためにスカルのテンポを増加させる。</p> <p>インスカルは、両腕それぞれ約60°前方までスカルする。手首はわずかに内と外の横に曲げ、指先でスカルをリードする。腕は定位置にセットするが、肘はスカルの間、小さい範囲（2-3インチ）で前方に動く。アウトスカルは、ウエストのまっすぐ外まで外にかく。手首は再びわずかに内と外の横に曲げ、指先でスカルをリードする。肘がインスカルで前方にシフトした場合、アウトスカルのときに胴体の中央に戻るよう肘をそっと動かす。</p>
2002	Star Program Manual	Synchro Canada	サポ ート スカル	<ul style="list-style-type: none"> ・肘から肩までの上腕を固定し、身体に近づける。前腕は腰の高さと水平。手はフラット。手首と指先は同じ高さ。手のひらは水底に向ける。インとアウトのかきの傾きと圧力は同等。 ・アウトスカル：前腕と指先が直接横を向くまで腕を外へかく。そのとき親指は下方に回し手のひらをフラット。 ・インスカル：両方の指が触れるまで、小指を横下方に、手のひらを返して開始位置に戻す。
2005	シンクロバジテスト制度 シンクロバジテスト実 施の手引き	財団法人日本水泳 連盟編	サポ ート スカル	上腕を固定し、前腕で水をかく。

2.2.2 指導書におけるエッグビーターキックの技術解説

Table 6 は 1956-2005 年にアメリカ、カナダ、日本で発行されたシンクロナイズドスイミングの指導書からエッグビーターキックについての記述を抜き出してまとめたものである。アメリカの“Coaching synchronized swimming effectively” (Forbes, 1989) という指導書は、エッグビーターキックの身体姿勢について、1) 直立の座位姿勢、2) 背中を伸ばして水面に直角とする、3) 首を伸ばし、肩を下げてリラックスする、4) 膝は腰と同じ高さで大腿上部が胴体に対して 90°になる、5) 下腿は膝から大腿と 90°にプール底方向に曲げる、と記述している。そして脚について、1) 膝をできるだけ開き、足と下腿でできるだけ大きな円を描くように片脚でのブレストキックを行う、2) 胴体と大腿が 90°を保ったまま、横と後ろにできるだけ大きく回す、3) 足は足首とつま先を強く曲げて横と前に動かし、後ろへ動かすときは強く伸ばす、4) 片脚が円を描き終わるとすぐにもう一方の脚が始まる、左脚は時計回りに右脚は反時計回りに動かす、すべての動きは膝とつま先の間の部分に制限される、残りの身体部分は固定される、と説明している。

Synchro Canada (2002) の“Star Program Manual”では、エッグビーターキックの身体姿勢は、1) 身体は頭から腰まで垂直にする、2) 頭は立てて水面上、3) 高さや姿勢を保持するために交互の回転キック (rotating kick) を用いる、4) 腕は水面に沿わせて前方または横に伸ばす、とし、脚の位置は、1) 大腿が水面とほぼ平行になるように股関節を屈曲する、2) 最大の支持と安定性を得るために大腿は広く保持し固定する、3) 膝は広く開いてわずかに下方に向けリラックスさせて固定する、4) 脚は屈曲姿勢を保持し決して伸びきらない、5) 足首は終始背屈させる、6) 脚の動きは下腿に制限し均等の交互のキックを行う、と記述されている。さらに脚の動きについては、1) アウトキックの最初は、片方の足を臀部を蹴るように引き上げ、それからできるだけ遠くへ横に動かすように外へ回転させる、2) 足はすねに対して 90°に立て、足の裏を横に直接向けて、ふくらはぎの内側を水底に向ける、3) 同時にもう一方の脚を内側へキックする、4) 両脚の円形の動きは同じ水の面で描く、5) 足首はできるかぎりずっと臀部に近づけておく、6) インキックとアウトキックでは同等の水圧を有する、7) スムーズで力強いエッグビーターキックは常時両脚に一定で均等の水圧を必要とする、ことが挙げられている。アメリカとカナダの指導書もほぼ同じことを説明している。異なるのは、カナダの指導書は足首を終始背屈させてキックするが、アメリカの指導書では足首は前と横に蹴るときは背屈させ、後ろ方向へ回すときは底屈させると説明していることである。

Table 6 Description of the eggbeater kick techniques in synchronized swimming coaching manuals

発行年	指導書・雑誌名	著者・編者	身体姿勢	脚の位置と動き
1956	図解組み泳ぎ	上野徳太郎	上体を直立して腰と膝を少しまげ、ちょうど上体が腰の上に落ち着いているような姿勢をとる。	膝をまげたまま、もものところを左右に開き、膝を頂点として、左右の足先きを交互に外がわから内にまわし、足の裏で水を下方外がわにふみつけるようにする。足の裏で水をふみつけたのち、足先きを外がわにまわし上るときには、つまさきをややねあげる気持ちでする。
1975	The Components of Synchronized Swimming	Jones, F.L. and Lindeman, J.I.	頭と肩を水上に出し身体を垂直またはほぼ垂直にする。	エッグビーター（支持的な脚のパターン）の最良の描写は、脚交互のウィップキックである。片脚が水底に向かって水を押している間、もう片方の脚はリカバリーしている。脚が外側で下に動くとき、圧はプール底に向かっていく。続いて身体中央線に向かって内側に足を戻すときは足の端で水を押している。踵が膝の後ろで外に動くとき、膝を鋭く曲げて足首から膝まででリカバリーを生じさせる。円運動の間、上側の脚は腰のソケット部で内側と外側の回転に制限がある。足が肩幅の外へ行くように、踵を身体中央線からできるだけ外へ離すように動かす。
1976	Introduction to Synchronized Swimming	Lundholm, J. and Ruggieri, M.J.	背中はまっすぐに伸ばし、水面と垂直にする。股関節を90°曲げ、足は大きな支持の土台を作るために広げて離す。	平泳ぎのキックを一方の足は右回りに、他方は左回りにと互い違いに動かす。
1979	シンクロナイズドスイミング初心者指導の手引	金子正子ほか 財団法人日本水泳連盟シンクロ普及委員会編	椅子に座ったような形で腰をすえ、上体は背筋をのばして立てる。両肩を軽く後に引いて肩を水面上に出す。	
1984	シンクロナイズド・スイミング	岡司早江子、 財団法人日本水泳連盟シンクロナイズド・スイミング委員会、 科学技術委員会編	椅子に座ったような形をとり、首、背中、腰を一直線上におき、腰をすえる。両肩とあごを軽く後方へ引き、両肩は水面に出す。	左右の脚を直角以上に開き、膝を動かさないように膝から下を内側から外側へ回転させ巻き足を行う。内側へかくとき、足首のスナップをきかせ足裏で水をかきこみ、外側へかくとき、足裏で踏みこむようにする。左右交互に行う。ポイント：踏み足を行うと上下動の原因となる。膝はつねに曲げた状態で、ももは浮きをとるつもりにする。上体をまっすぐ伸ばし腰を前に出す感じにする。
1989	Coaching synchronized swimming effectively second edition	Forbes MS, United States Synchronized Swimming (Ed.)	直立の座位姿勢。背中は伸ばして水面に直角とする。首を伸ばし、肩を下げてリラックスする。膝は腰と同じ高さで大腿上部が胴体と90°になる。下腿は膝から大腿と90°にプール底方向に曲げる。	膝をできるだけ開き、足と下腿でできるだけ大きな円を描くように片脚でのプレストキックを行う。胴体と大腿が90°を保ったまま、横と後ろにできるだけ大きく回す。足は足首とつま先を強く曲げて横と前に動かし、後ろへ動かすときは強く伸ばす。片脚が円を描き終わるとすぐにもう一方の脚が始まる。左脚は時計回りに、右脚は半時計回りに動かす。すべての動きは膝とつま先の間の部分に制限される。残りの身体部分は固定される。
1990	シンクロナイズドスイミング初心者指導の手引（改訂版）	岡司早江子、 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会編	首、背中、腰を一直線に伸ばし、椅子に座ったような型	左右の脚を直角以上に開き、膝を動かさないように膝から下を内側から外側へ回転させ巻き足を行う。内側へかくとき、足首のスナップをきかせ足裏で水をかきこみ、外側へかくとき、足裏で踏みこむようにする。左右交互に行う。ポイント：踏み足を行うと上下動の原因となる。膝はつねに曲げた状態で、ももは浮きをとるつもりにする。臀部につき出さない。足先は伸ばし切らない。

1993	水泳コーチ教本	図司早江子, 財団法人日本水 泳連盟編	身体を一直線に保ち, 椅子 に座った型	両脚を120°くらい開き, 膝を少し腰のほうに引 き上げ, 動かさないように保ち, 膝から下を内 側から外側へ回転させる. 足首のスナップを十 分きかせ, 内から外側へ足裏で水を踏み込むよ うに, 左右脚交互に動かす.
2001	Routine Fundamentals A Simple Approach to Figure Success	Zielinski, D.	肩を下げて首を長く伸ば す. 肩は腰の真上.	右足は外から内へ反時計回りに足を回す. これ は足で水をつかむとき, もしくはエッグビー ターキックの推進局面である. ウィップキック のように足はスカーリングタイプの動作を行 う. 泳者はフィーリングと理論が近似するよう にエッグビーターキックを習得しようとする前 に, ウィップキックに熟練すべきである. 足が後ろを回ったあと, 足を背屈して外に回転 させる. ウィップキックで脚を曲げるときにリ カバリーポジションが生じるのと同じく, これ はエッグビーターキックのリカバリーポージ ションである. 両脚は反対の方向に円を描くので, 右足がリカバリー局面の後に円を描くとき, 左 足が推進局面の前方に向かって円を描く. 足は 外から内のときに底屈し, 内から外のときに背 屈する.
2002	シンクロナイズドスイ ミング競技者育成プロ グラム 一貫指導教書	財団法人日本水 泳連盟シンクロ 委員会編	身体は鼻, へそ, 股が一直 線上にストレッチ.	膝はできるだけ水面近いところに引き上げる. かかとと臀部に近づける.
2002	Star Program Manual	Synchro Canada	身体は頭から腰まで垂直に する. 頭は立てて水面上. 高さや姿勢を保持するた めに交互の回転キック (rotating kick) を用いる. 腕は水面に 沿わせて前方または横に伸 ばす.	大腿が水面とほぼ平行になるように股関節を屈 曲する. 最大の支持と安定性を得るために, 大 腿は広く保持し, 固定する. 膝は広く開いてわ ずかに下方に向け, リラックスさせて固定す る. 脚は屈曲姿勢を保持し, 決して伸びきること がない. 足首は終始背屈させる. 脚の動きは 下腿に制限し, 均等の交互のキックを行う. アウトキックの最初は, 一方の足を臀部を蹴る ように引き上げ, それからできるだけ遠くへ横 に動かすように外へ回転させる. 足はすねに対 して90°に立て, 足の裏を横に直接向けて, ふく らはぎの内側を水底に向ける. 同時にもう一方 の脚を内側へキックする. 両脚の円形の動きは 同じ水の面で描く. 足首はできるかぎりずっと 臀部に近づけておく. インキックとアウトキッ クでは同等の水圧を有する. スムーズで力強い エッグビーターキックは常時両脚に一定で均等 の水圧を必要とする.
2005	水泳コーチ教本第2版	図司早江子, 財団法人日本水 泳連盟編	上半身を一直線に保ち, 椅 子に座った形	両脚を120°前後に開き, 膝を腰よりやや前方に 引き上げ, かかとと臀部の横あたりに用意. 脚 の動きは, 膝から下を内側から外側へ回転さ せ, 足首のスナップを十分にきかせ, 左右脚交 互に動かす.

2.3 推進技術のバイオメカニクス研究

2.3.1 スカーリング動作の分析

スカーリング動作の分析研究はいくつかなされている。Zinzen *et al.* (1992) は、バレーレグアルタネイト^{注15}動作中の腕の5つの筋の筋電図を測定し、その強度は他のスポーツの最大下努力での動作と類似したことを報告し、さらに上向き水平姿勢時にバレーレグ動作時よりも大胸筋の活動が活発であったことからスカーリングの推進力は、肩ではなく肘によって導かれていることを示唆した。この結果は、多くの指導書で述べられている「上腕を固定し、肘から先でスカルする」という技術解説を裏付けるものであった。

Francis and Smith (1982) は、シンクロナイズドスイミング元世界チャンピオンのクレーン姿勢（片脚挙上）でのサポートスカル動作における人差し指の軌跡を2次元画像分析した。その結果、サポートスカルの1周期は約0.8 sで、肘を一定の屈曲角度に保持し肩の内外旋によって流体力を生んでいることが映像からわかったこと、および左右の指の軌跡がまったく異なったことを報告した。そして、スカル中は切れ間なく流体力を生み続けていること、外側移行局面は垂直方向の動きのため抗力の貢献が大きい、ほぼ水平方向にスカルしている部分は揚力の貢献の大きいことを示唆した。これらのことより、熟練者は、サポートスカルの1周期の大部分が揚力を利用して身体を上げていると結論づけている。また、Rybuyakova *et al.* (1991) は、30名のさまざまなレベルの選手のサポートスカル動作を2次元分析し、熟練者と未熟練者の手の軌跡を比較した。その結果、熟練者の手はフラットで水平面上に横に長い8の字を描いており、未熟練者の手は上下に動き、ふくらみのある軌跡を描いていたことを報告した。スカーリング時の手の動作スピードは、インスカルの最後の局面で増加し、内側移行局面で最大スピードを示したが、手の動作の平均スピードは、熟練者と未熟練者の間に差はみられなかった。肘関節角度の変化は、外側移行局面で熟練者の肘関節の変化量が大きかった。手関節の角度変化は両方のレベルの選手間に差はみられなかった。さらに、Hall (1996) は、アメリカシンクロナイズドスイミングナショナルチーム3名（1996アトランタオリンピック金メダリスト）のクレーン姿勢（片脚挙上）と垂直姿勢（両脚挙上）時のサポートスカル動作を3次元DLT法にて分析した。姿勢の安定性を評価するために、スカル時の

注15 バレーレグアルタネイト：上向き水平姿勢から片脚を垂直に上げて下ろし、もう一方の脚を同様に垂直に上げて下ろす動作。この動作中、身体は水平姿勢を保持したままである。

頭の位置の変動をみた結果、それは 2.6-5.9 cm の間で変動していた。そして、クレーン姿勢時に比べて垂直姿勢時に手首の動きの範囲およびスカル velocities の波形が非常に大きかったことから、垂直姿勢時にはクレーン姿勢時のおおよそ 2 倍の重さを支える推進力をサポートスカルで発揮しなければならないと述べている。またすべての選手がクレーン姿勢よりも垂直姿勢時の 1 サイクルのスカルタイムが短かったことから、両脚挙上時にはスカルの速度を増加させることを報告した。また本間(2000a)は、クレーン姿勢最高位の水上海重負荷は 6.6 kgf、垂直姿勢最高位の水上海重負荷は 14.8 kgf で、両脚挙上時は片脚挙上時の 2.2 倍の荷重負荷を支持しなければならないと述べている。クレーン姿勢では片脚が水中にあり、その片脚分の体積が浮力を生み出しているが、両脚が水上に挙上された場合にはその片脚分の浮力が消失するため、クレーン姿勢と垂直姿勢で同じ水上の高さを獲得するには、両脚挙上時に 2 倍以上の大きな推進力を発揮しなければならないことになる。Hall (1996) の研究では、選手は両脚挙上時により大きな推進力を得ようとして、大きな軌跡を描き、スカルのスピードを増加させたものと考えられる。さらに Hall (1996) はもっともスキルの高い選手の前腕の水平面に対する角度が、他の 2 選手よりも小さく、彼女が他の選手よりも鉛直方向への揚力をうまく発揮し、効率の良いスカルをしていたことを示した。

以上のように、スカーリングの動作分析から、Francis and Smith (1982) は推進力発生の機序を示唆し、Rybuyakova *et al.* (1991) および Hall (1996) は、熟練者がスカルの縦幅が小さく、また水平面に対する角度が小さく、効率良く揚力を発揮していることを明らかにした。

2.3.2 エッグビーターキック動作の分析

水球選手を対象としたエッグビーターキック動作の研究はいくつかみられるが、シンクロナイズドスイミング選手を対象にしたものは数えるほどである。シンクロナイズドスイミングでは、エッグビーターキックは規則通りの姿勢や動作を遂行するために用いるものであるが、いかに水上に身体を高く出すか、いかに大きな推進力を発揮するか、またいかに効率良い技術を行うかという目的は水球もシンクロナイズドスイミングも同一である。そこで、ここではシンクロナイズドスイミング選手を対象とした研究が非常に少ないことを考慮し、水球選手を対象に分析したものも取り上げることにした。

エッグビーターキックに関する先行研究でもっとも古いのは Clarys (1975) による研究であろう。Clarys (1975) は、水球選手と競泳選手の2名の脛骨踝に圧力変換装置を装着し、エッグビーターキックとブレストストロークキックの出力を比較し、その効率を検討した。その結果、エッグビーターキックとブレストストロークキックの両方において、右脚と左脚で大きく異なる出力パターンが現れた。Francis and Smith (1982) は世界チャンピオンのサポートスカル軌跡が左右まったく異なることを報告しており、左右差が大きいという点において Clarys (1975) のエッグビーターキック、ブレストキックの分析結果と類似していた。

松井ほか (1984) は足底部と足背部に圧力センサーを、腰部に加速度センサーを装着しエッグビーターキックの下肢の動作を分析した。その結果、熟練者の足は立体的な楕円状の軌跡を示し、ほぼ一定の推進力を発揮し続けるのに対し、未熟練者は長楕円状の往復運動が顕著になり、推進力の変動が大きくなることを報告した。また、大きな推進力を必要とするときは、抗力成分の大きな足の蹴り下ろし動作が強く現れることを明らかにした。

Sanders (1999a, 1999b, 2005) は、水球選手のエッグビーターキック動作を3次元分析し、高さの維持に関係のある要素を検討した結果、足のスピードが深く関係することを見出した。そして足のスピードを上げるためには、股関節を外転した状態でキックする必要があり、その姿勢をとるためには、下肢の筋力および柔軟性のトレーニングが重要であるとしている。さらに熟練者は前後に足を動かし、未熟練者は上下に足を動かしていたことから、スカーリング動作を行うように、足は鉛直ではなく水平にキックすることが重要であるとしている。そして、ピッチ角度（足裏の傾き）をできるだけ小さくすることで、上方への推進力を効率良く得られることを示し、足の運動の方向が重要であると示唆した。さらに、足から生み出される力を保持するためには、足の運動ができるだけ連続的で、足の1サイクル中に大きい速

度変化がなく、1サイクル全体を通して速く動く必要があるとしている。Alexander and Taylor (2005) は、エッグビーターキック動作時の足が細長い楕円形を描くように動くこと、股関節を 80° 屈曲させ、 90° 外転し、膝を 15° まで最大限に屈曲させて臀部に引き付けたところからキックし始めること、また、キックの開始のときに足首を背屈させ、足の最適ピッチ角度をもたせるために内側から戻すときに底屈させることなど、エッグビーターキック動作のポイントを論じている。

シンクロナイズドスイミング選手を対象にしたエッグビーターキック動作の特性は本間ほか(1999)によって報告されている。本間ほかは、足部の描く軌跡は水面に平行ではなく水面に対して $35\text{--}57^{\circ}$ の平面上を動いていることを明らかにした。そして、負荷が増した状態では、キックのスピードが高まり足首の描く面積が大きくなること、さらに足首の描く平面の角度が大きくなり縦方向へのキックになることから抗力成分の推進力の割合が増すことを示唆した。エッグビーターキックにおいて負荷が増すとキックのスピードが増加し足首の描く面積が大きくなるという結果は、Hall (1996) のサポートスカル動作分析結果、すなわち水上荷重負荷が増えるとスカルの軌跡が大きくなり、スカルのスピードが増すという結果とまったく同じであった。また、負荷が増えると、足首の描く平面の角度が大きくなり、縦方向へのキックになり抗力成分の推進力の割合が増えるという結果は、前出の松井ほか(1984)の研究結果と一致した。さらに本間ほか(1999)は上級者と中級者を比較した結果、上級者は膝と踵の位置が高く保持されていること、リカバリー時に足部を背屈、内反させ効率良く揚力を発生しようとしていることを明らかにした。

このようにエッグビーターキックの動作を分析したいずれの研究(Alexander and Taylor C, 2005; 本間ほか, 1999; 松井ほか, 1984; Sanders, 1999a, 1999b, 2005)においても、熟練者のエッグビーターキックは効率良く揚力を発生させるような脚の動きをしていることが報告されている。

2.3.3 エッグビーターキックの推進力の分析

水球選手を対象にエッグビーターキックの推進力を分析した研究がいくつかみられる。原ほか（1988）は、立ち泳ぎ中に発揮される上方への力を測定する装置を製作し、5秒間の全力巻き足運動（エッグビーターキック）とスカーリング運動（フラットスカル）による男女水球選手の推進力を測定した。脚と腕両方で発揮される力は、男子平均（ $n = 13$ ）20.2 kg、女子平均（ $n = 10$ ）12.5 kg、腕のみでは男子平均 8.3 kg、女子平均 5.1 kg、脚のみでは男子平均 9.4 kg、女子平均 7.2 kg であった。得られた結果より、男子においては脚のみの推進力の測定でエッグビーターキックの推進力を評価できること、女子は脚と腕の両方を測定する必要があると結論づけている。柳ほか（1994）は、男子水球選手 24 名と女子水球選手 12 名の腕と脚の無酸素パワー（10秒間の全力クランキング運動／ペダリング運動）およびエッグビーターキック時のフラットスカルと脚による推進力（推進力測定装置利用）を検討し、無酸素パワーと推進力の間に有意な関係があることを明らかにし、推進力に加えて無酸素パワーの値を検討することによってエッグビーターキック力の評価が可能であると報告している。この研究では、腕の無酸素パワーと脚の無酸素パワーとの間、無酸素パワーと推進力との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。男女を比較すると、女子選手の脚と腕の無酸素パワーは男子選手の 68.4%、47.45%で、腕の無酸素パワーは男子の 1/2 に満たず、これは筋量の違いによると考察している。同様にエッグビーターキックの推進力についても、男子選手が女子選手より有意に高く、女子のフラットスカルによる推進力は男子の 53.9%、女子のエッグビーターキックによる推進力は男子の 64.3%であった。原ほか（1988）と柳ほか（1994）の研究から、女子のフラットスカル力が男子に比して小さいこと、および女子はエッグビーターキック時の脚の推進力の貢献度が男子より大きいことが特徴であることがわかった。さらに Yanagi *et al.*（1995）は、女子水球選手（ $n = 15$, 平均体重 60.2 kg）を対象に、5秒間の全力エッグビーターキック運動による脚のみの鉛直方向への力、および10秒間の全力ペダリング運動による脚の無酸素パワーを測定した。その結果、エッグビーターキック中の鉛直方向の力は 60–120 N、無酸素パワーは 463–707 W で、エッグビーターキックの鉛直方向への力とペダリング運動による無酸素パワーとの間に有意な相関は得られなかったと報告している。有意な関係が認められなかった理由として、エッグビーターキックの推進力が多様な要素から成ること、および下肢の柔軟性の影響などが大きいからではないかと推察している。本間（2000a）は、両腕を挙上し脇の下まで身体を上げたときの水上荷重負荷は平均体重 52 kg の

女子シンクロナイズドスイミング選手で 13.6 kgf であったことを報告しており、先行研究（原ほか, 1988; Yanagi *et al.*, 1995）から得られた女子水球選手のエッグビーターキックの脚のみの鉛直方向への力が、平均 7.2 kgf、および 60–120 N であったという結果と比較検討すると、女子水球選手は両腕を挙上して行うアームシークエンスをエッグビーターキックで支持しきれないことになる。しかしながら、実際にシンクロナイズドスイミング選手は演技中にアームシークエンスを行っているわけであるから、女子水球選手よりもシンクロナイズドスイミング選手の方がエッグビーターキックで大きな推進力を発揮できるのではないかと推測される。

2.3.4 エッグビーターキックスキルと脚の筋力および筋形態との関連

エッグビーターキックスキルが脚の筋力および大腿部と腹部の筋横断面積とどのような関連があるかをみた結果、下肢の筋横断面積とは関連がみられなかったが、下肢の等速性筋力との間には相関関係が認められたことが報告されている（本間と久野，2001）。

この研究では、シンクロナイズドスイミング日本代表選手を対象に、大転子を 100%，膝蓋骨を 0%とした場合の大腿部 70%，50%，30%部位と大腰筋の筋横断面積を MRI で測定している（Table 7）。また、筋力はサイベックスを用いて、角速度 $60 \cdot 180$ （°/s）での膝関節屈曲および伸展，股関節外旋および内旋，股関節外転および内転における等速性最大筋力（peak torque）を求めている。そして、それぞれの等速性最大筋力とエッグビーターキックスキルとの相関関係を検討した。その結果、シンクロナイズドスイミング日本代表選手のエッグビーターキックスキルと大腿部および大腰筋の筋横断面積との間には、いずれの部位においても相関関係は認められず、エッグビーターキックスキルは筋形態に起因していないことを示唆している。一方、エッグビーターキックスキルと体重あたりの等速性最大筋力との相関関係をみた結果（Table 8）、筋力と関連があることが示された。とりわけ、有意な相関を示したのは中速域での股関節外転筋力および膝関節屈曲筋力であったことから、エッグビーターキックの強化には、中速域でのハムストリングス、縫工筋、中殿筋、小殿筋強化を重点的にトレーニングすることが有効であると示唆している。さらに、水中での筋力発揮および技術改善を図るためにはエッグビーターキック動作に関連のある運動部位の柔軟性が高いことが望まれる。それゆえ、股関節外転、股関節内旋、足関節背屈・底屈の可動性をより高めることが望ましいと結論で述べている。

しかしながら、この研究では、サイベックスを用いた単関節の運動の筋力測定の結果であり、本来のシンクロナイズドスイミングでの出力特性とは異なるため、筋力の測定方法ならびにエッグビーターキックのパワー等を定量化する方法を開発する必要がある。

Table 7 Muscle cross-sectional area of thigh and psoas major in Japanese elite synchronized swimmers (本間と久野, 2001)

		<i>Thigh</i>			<i>Psoas Major</i>
		<i>70% part (upper thigh)</i>	<i>50% part (mid-thigh)</i>	<i>30% part (lower thigh)</i>	
<i>CSA of thigh</i>	(cm ²)	222.4 ± 10.7	173.5 ± 16.5	130.7 ± 13.4	
<i>Whole muscle CSA</i>	(cm ²)	116.3 ± 4.2	108.8 ± 7.7	73.3 ± 7.9	20.5 ± 1.7
<i>CSA of thigh / Whole muscle CSA</i>		52.4 ± 2.1	62.9 ± 2.7	56.2 ± 3.6	
<i>CSA of extensors</i>	(cm ²)	49.3 ± 2.7	53.2 ± 4.1	39.7 ± 5.3	
<i>CSA of flexors</i>	(cm ²)	65.3 ± 5.3	52.8 ± 5.3	31.2 ± 3.6	
<i>Extensors / flexors</i>	(cm ²)	75.8 ± 7.5	101.3 ± 10.5	127.5 ± 15.6	
<i>Area of fat</i>	(cm ²)	100.9 ± 8.9	60.1 ± 10.2	51.3 ± 8.3	
<i>% fat</i>	(%)	45.3 ± 2.2	34.5 ± 2.8	39.2 ± 4.0	

CSA: muscle cross-sectional area

The values are indicated as mean±standard deviations.

Table 8 Isokinetic peak torque of leg strength by using Cybex, and correlations between peak torque (Nm/BW) and eggbeater kick skill level for Japanese elite synchronized swimmers (本間と久野, 2001)

	<i>Angular Velocity °/s</i>	<i>peak torque (n = 6)</i>		<i>r</i>
		<i>Nm mean ± SD</i>	<i>Nm/BW mean ± SD</i>	
<i>Knee flexion</i>	60	77.3 ± 7.2	1.4 ± 0.2	0.254
	180	69.7 ± 7.6	1.3 ± 0.2	0.832 *
<i>Knee extension</i>	60	138.7 ± 18.0	2.5 ± 0.4	0.759
	180	90.3 ± 5.0	1.6 ± 0.1	0.642
<i>Hip external rotation</i>	60	20.7 ± 1.2	0.4 ± 0.0	0.444
	180	17.3 ± 3.4	0.3 ± 0.1	0.322
<i>Hip internal rotation</i>	60	20.0 ± 1.9	0.4 ± 0.1	0.251
	180	16.2 ± 1.5	0.3 ± 0.0	0.604
<i>Hip abduction</i>	60	88.8 ± 10.1	1.6 ± 0.1	0.676
	180	51.7 ± 6.2	0.9 ± 0.1	0.955 ***
<i>Hip adduction</i>	60	119.5 ± 19.1	2.2 ± 0.4	0.121
	180	57.8 ± 7.4	1.0 ± 0.1	0.679

SD: standard deviations.

* p < 0.05, *** p < 0.001

2.3.5 スカーリングとエッグビーターキックにおける推進力発生のメカニズム

スカーリングとエッグビーターキックの推進力発生の原理は流体力学を応用して説明されている (Alexander and Taylor, 2005; Francis and Smith, 1982; Hall, 1985; Hall, 1996; 伊藤, 2005; 鎌田, 2006; Rackham, 1968; Reeves, 1975; Zielinski, 1997, 2005). すなわち, スカーリングの手とエッグビーターキックの足をそれぞれ翼と仮定し, 翼に適度な傾きを持たせて水平に水を押すことによって, 翼の上部と下部の圧力差を増大させ, 上方への推進力, つまり揚力を発生させていると論じている. スカーリングとエッグビーターキックは, 抗力と揚力の両方の推進力を発生させており, 上方への推進力は抗力よりも揚力の貢献が大きいとされている. 揚力理論については, 上下を通過する水流の速度の違いによって圧力差が生じ, 圧力の高い方から低い方へ力が生まれるというベルヌイの定理をもとに説明している研究 (Alexander and Taylor, 2005; Zielinski, 1997, 2005) が主流である. Hall (1985) は, スカーリングの仕組みを理論的に説明し, 効率的な動きと安定性を実現するような揚力の最適活用のために, 1) 常時, 理想的な手と足の翼角度を保持すること, 2) 揚力発揮の方向は, 水の中で翼がスカルした面に対して垂直であることから水平にスカルすることが重要である, と実践的示唆を与えている. 伊藤 (2005) および Ito (2006) は, スカーリング時の手のひら形状について数種類の模型を作って揚抗力を求め, 最大浮力を生み出す最適な手のひら形状は指を閉じ指先が平面状 (直線状) のお椀型であることを見出した. しかし, 安定した均一の浮力を求めるのであれば, 手のひらがフラットで指間のない型が最適であるとしている. さらに, 伊藤 (2005) はシンクロナイズドスイミングのスカーリングは体位を変えずに前後左右に移動可能であることから, ヘリコプタのホバリング状態と同一であり, スカーリング中は上から下へ安定的なダウンウォッシュという流れが生ずるために渦が生じているという考えを示している.

しかしながら, これまでの報告は流れが定常状態であることを前提とした翼理論を応用して, スカーリングやエッグビーターキック時の揚力発揮を説明している. 流れが定常状態に達するためには, 少なくとも運動開始後, 翼弦 (翼の横幅) の6倍以上運動経過しなければならない (Ellington, 1995) が, スカーリングやエッグビーターキックの場合には, 手や足の運動方向や速度が時々刻々と変化しており, 定常状態に達していると言い難い. 実際に, 定常状態を前提とした手部の推進力分析結果は, 実際より約17%過小評価しているとBerger *et al.* (1999) は指摘しており, Lauder and Dabnichki (2005) も同様の見解を示している.

最近では, 昆虫の飛翔分析 (Wang, 2000) から得られた非定常揚力理論を応用して, 手部

が発揮する推進力を定量しようとする試みが行われている (Matsuuchi *et al.*, 2004 ; 鎌田, 2006 ; Kamata *et al.*, 2006). Kamata *et al.* (2006) は PIV (Particle image velocimetry) 法を用いてスカーリング時の流れ場を可視化し、泳者が渦対を形成し流れ方向のジェット流を発生させていたことを明らかにした。そして、スカーリングは、渦とジェット流によって推力を生み出していると結論づけている。この結論は先述のヘリコプタのダウンウォッシュ流と渦から推力を得ているという伊藤 (2005) の見解と同一である。同時に、鎌田 (2006) は、下向き水平姿勢で腕を腹部の下に位置したスカーリング時の手の迎え角を分析し、最小値約 40-45°, 最大値約 60-65°で泳者が適度に迎え角を変化させながらスカルしていることを明らかにした。そして、流れの失速が起こるのは約 40-60°であると考えられ、迎え角が最大となる移動方向の変換点に向けて徐々に迎え角を増大させ、手部から流れが剥離し、渦を形成させていることを突き止めた。スカーリングにおいては、手を平らのまま動かすのではなく、徐々に迎え角を変化させることによって渦を形成させることが重要であると述べている。さらに、スカーリング時にはミバエの飛翔メカニズムで見られたような「失速遅れ」現象を確認したことから、スカーリング時には揚力の貢献度が大きいことを示唆している。

しかしながら、未だシンクロナイズドスイミングにおけるスカーリングやエッグビーターキックの推進力発生メカニズムは十分に解明されておらず、今後の研究が待たれるところである。

2.3.6 フラットスカル時の水面にできる渦

フラットスカルのスカーリング時にできる水面の渦 (Figure 17) についての記述がいくつかの文献にみられる。Jones and Lindeman (1975) は、手首をわずかに内転、外転させてスカルすることによって前腕のすぐ外側に渦巻き (whirlpools) が現れるとしている。そして、「渦巻きは、その動きが上向きに水をかきまぜているのではなく、下向きに水を吸収しているということをコーチに示している」と述べている。Reeves (1975) は、「もし、スカーリング技術が正しければ、各々の手の上に渦 (Vortex) ができる。手の下の圧力が増加すると手の上の圧力が減少し渦巻き (Whirlpool) が生ずる。渦巻きは正しいスカーリングテクニックから生まれるのである」と述べている。また、本間 (1992) は、「スカーリングの際、手で水を十分に押さえ、練られているとき、洗濯機でできる渦巻きと同じようなものを水面に見ることができる。熟練者や競泳選手のように非常に強い力を発揮できるものは、渦巻きの中心にピンポン玉を置いた場合、ピンポン玉を水中に引き込むこともある」と述べている。Zielinski (2001c) は、渦巻き (Whirlpool) は手の力 (tension) の良い指標であり、手のひらもしくは手首の上方にできるとしている。つまり推進力の発揮方向を一つに集中させており、効率よい推進力を発揮できていることにつながっている。

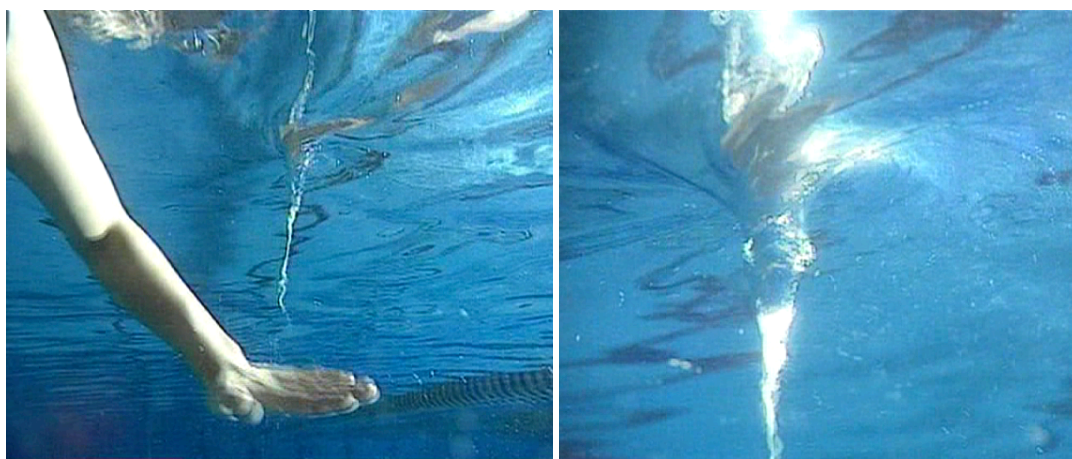


Figure 17 Whirlpool from flat scull movement
(Movies from NHK Education TV, October 9, 2004).

第3章 研究の課題

3.1 問題の所在

先行研究によって、シンクロナイズドスイミングにおいてより高いパフォーマンスを遂行するためにはスカーリングやエッグビーターキックといった推進技術のスキル向上が重要であること、ならびに、推進技術に関して流体力学的理論からのテクニックの解説や、経験から記述された技術解説は数多くなされており、基本的な技術指導観点については共通見解が示されていることが明らかとなった。しかし、それらの記述は実験的研究によって検証されておらず、また、初心者や初級者の競技レベルでの指導上有用な示唆にとどまっている。

スカーリングとエッグビーターキックは、非日常的な動きを伴うシンクロナイズドスイミング特有の動作であり、水面下で行われる3次元的な動作であることから、過去になされた研究はほんのわずかしかない。そして、そのほとんどが2次元分析である。それゆえ、3次元的な動作であるスカーリングとエッグビーターキック動作の解明が十分になされているとはいえない。

一流シンクロナイズドスイミング選手を対象とした研究がほとんどみられず、上級者が実際にどのような動作を行っているのかが明らかにされていない。また一流選手を対象に個人間比較を行った研究がみられない。それゆえ、上級者がさらにスカーリングとエッグビーターキックのスキルを向上させるための指導上の実践的示唆が示されていない。

3.2 研究の課題

本研究は、演技中にもっとも多用されるスカーリング2種類（フラットスカル、サポートスカル）とエッグビーターキックに着目し、一流シンクロナイズドスイミング選手の動作特性を3次元画像分析によって明らかにする。そして、上位者の特長からより効率的な推進技術の指導観点を導き出す。

本研究では、以下の3つの研究課題を設定し、実験を行った。

【研究課題1】 フラットスカルの動作特性と指導観点

1-1 一流シンクロナイズドスイミング選手のフラットスカル動作 [実験1]

一流シンクロナイズドスイミング選手のフラットスカルの動作特性を明らかにし、上位選手の特長から技術的な指導観点を導き出す。

1-2 荷重負荷の違いによるフラットスカル動作の比較 [実験2]

シンクロナイズドスイミングの演技で用いられる水平系基本姿勢3種類におけるフラットスカル動作の比較を行い、水上荷重負荷の違いによってフラットスカル動作がどのように変化するかを検討する。

【研究課題2】 サポートスカルの動作特性と指導観点

2-1 一流シンクロナイズドスイミング選手のサポートスカル動作 [実験3]

一流シンクロナイズドスイミング選手のサポートスカルの動作特性を明らかにし、上位選手の特長から技術的な指導観点を導き出す。

2-2 垂直姿勢保持能力の高い選手のサポートスカル動作 [実験4]

垂直姿勢保持能力からみたサポートスカルスキルの高い選手と低い選手の動作を比較し、サポートスカルスキルの高い選手の動作の特長から技術的な指導観点を導き出す。

2-3 垂直姿勢保持能力と筋力および体組成との関連

一流シンクロナイズドスイミング選手の垂直姿勢保持能力と、肩の筋力、体組成との関連を検討する。

【研究課題3】 エッグビーターキックの動作特性と指導観点

3-1 エッグビーターキックスキルの高い選手の動作 [実験5]

一流シンクロナイズドスイミング選手を対象に、総合的なパフォーマンス能力に対して相対的にエッグビーターキックスキルの高い選手と低い選手のエッグビーターキック動作を比較し、エッグビーターキックスキルの高い選手の動作の特長から技術的な指導観点を導き出す。

3-2 エッグビーターキックスキルと筋力および柔軟性との関連

一流シンクロナイズドスイミング選手のエッグビーターキックスキルと、脚・体幹の筋力、股関節・足部の柔軟性との関連を検討する。

3.3 研究の限界

3.3.1 対象者数について

本研究は世界トップレベルのシンクロナイズドスイミング選手の動作特性を明らかにしようとしたため、限られた対象者数で行った。日本代表チームは8名が正選手で補欠を加えて10-12名で構成される。

3.3.2 スキルの評価について

シンクロナイズドスイミング競技は審判員の採点によって順位を決定する採点スポーツである。審判員は定められた採点基準を用いて豊富な知識と経験から採点を行っている。そして、スカーリングとエッグビーターキックは、シンクロナイズドスイミングのパフォーマンスを遂行するために水中で発揮される推進技術であるため、推進技術のスキルそのものが評価されるのではなく、そのスキルを用いたパフォーマンスが評価される。そこで、本研究ではスカーリングとエッグビーターキック動作がもっとも直接的に反映されている基本動作を研究対象とし、それに対する審判員の評価をもって推進技術の優劣を判別した。

3.3.3 対象者の汎用性について

本研究は、世界トップレベルにある日本女子シンクロナイズドスイミング選手を対象に動作分析を行った研究結果をまとめたものである。したがって、本研究で得られた知見を、体格や身体密度の異なる他国の選手に応用することには限界がある。

3.3.4 指導観点の汎用性について

本研究は、一流選手の推進技術が長年のトレーニングによって効率化された動作であるという仮定に立ち、その動作特性をモデルとし技術指導観点を明らかにした。したがって、その技術指導観点は初心者から適用できるものもあれば、ある程度の経験を積んだ中級者以上のスキルを有する選手にしか適用できないものもある。ただし、スカーリングとエッグビーターキックはシンクロナイズドスイミングの基本の動作であるゆえ、選手の競技レベルや経験年数が異なってもその指導原理は同一である。もちろん、指導の際には、選手のレベルに応じた指導言語、表現方法を用い、段階的指導の内容等を工夫することが必要である。

第4章 フラットスカルの動作特性と指導観点

4.1 一流シンクロナイズドスイミング選手のフラットスカル動作

【研究課題 1-1：実験 1】

4.1.1 目的

本研究は、シンクロナイズドスイミングのフラットスカルの動作特性を明らかにすること、および上位選手の特徴から技術的な指導観点を導き出すことを目的とした。

4.1.2 方法

(1) 被験者

被験者は10名の女子シンクロナイズドスイミング選手であった。10名のうち4名は2004年アテネオリンピック銀メダリスト（オリンピック群：Excellent Group）、残りの6名は日本代表Bチームおよび日本代表ジュニアチームに属する熟練した選手（B代表群：Good Group）であった。日本代表Bチームは、日本代表Aチーム（国内上位10名）の次に続くレベルのチーム（国内11-20位までの10名）で、日本代表Aチームを目指す次世代の選手で構成されている。オリンピック群4名の競技歴と身体特性は、競技年数 14.5 ± 1.5 年、年齢 22.8 ± 1.5 歳、身長 1.64 ± 0.02 m、体重 55.4 ± 1.9 kg、B代表群6名は、競技年数 9.3 ± 1.1 年、年齢 17.2 ± 1.5 歳、身長 1.58 ± 0.03 m、体重 49.7 ± 2.3 kg であった。

(2) 試技

試技は静止した上向き水平姿勢でのフラットスカルを2種類の条件下：負荷なしの状態（以下負荷なしという）および1.5 kgのおもりを腰につけた状態（以下1.5 kg 負荷という）で各10秒間行わせた。1.5 kgのおもりは通常トレーニングで行うスカーリングドリル時に用いる重さとし、おもりの付け方をトレーニング時と同じにした。腰にチューブを巻き、ネットにおもりを入れてチューブのもう一方の端に付け、おもりが水中（水深約1.5 m）に垂れ下がる

ようにした。両条件下ともに、上向き水平姿勢の身体の前面（顔、胸、腰、大腿、足の甲）が水面に浮き、身体を安定させるようにスカルするよう指示した。

(3) 撮影方法

Figure 18 に実験構成図を示した。シャッタースピード 1/100 秒，毎秒 30 コマで撮影できるビデオカメラを 2 台使用し，1 台はプールの底から，もう 1 台はプールの水中窓から撮影した。2 台のビデオカメラは外部同期信号発生装置とフレームカウンターによって同期した。手動でのデジタイズ処理を容易にするため，スイマーの大転子，肩，肘，手首，親指・小指・中指の先端，指の付け根をホワイトテープでマーキングした。

撮影された画像は Macintosh コンピュータに取り込み，数値計算ソフトの Mathematica (Wolfram Research Inc. USA) にリンクした Movie digitizer (宮地, 1998; Miyaji and Abbot, 2001) を用いてデジタイズ処理を行った。デジタイズポイントは水面，肩，肘，手首，親指・小指・中指の先端，指の付け根であった。3 次元座標は 3 次元 DLT 法 (Shapiro, 1978; 池上, 1983; 池上ほか, 1991) により算出した。

基準座標系はプールに対応して定義された (Figure 18)。160 のコントロールオブジェクトポイントがある直方体 (1.0 m×1.0 m×0.7 m) を 3 次元 DLT コントロールオブジェクトとして使用した。校正座標を再現した場合の誤差は，5.22 mm (x 軸)，4.6 mm (y 軸)，3.9 mm (z 軸) であった。3 次元の座標データは 60Hz のデータに補間した後、バターワースのローパスデジタルフィルタにより遮断周波数 7.5Hz で平滑化した (Winter, 2005)。

(4) 分析項目

スカーリング動作は反復動作であるため，安定した試技中の 1 サイクルのみを分析対象とした。フラットスカルの 1 サイクルの外側（肘が伸びたとき）を開始点として分析した。

分析項目は以下に示したとおりであった。Figure 19 に肘の深さ，手首の深さ，上腕角度，肘角度，スカルレンジを図示した。

- | | |
|----------|---|
| 1) 肘の深さ | 水面から肘までの相対的な深さ（肘の対水面高）。 |
| 2) 手首の深さ | 水面から手首までの相対的な深さ（手首の対水面高）。 |
| 3) 上腕角度 | 水面 (x-y 平面) 上における上腕と体側（肩と大転子を結ぶ線分）のなす角。 |
| 4) 肘角度 | 前腕と上腕のなす角。 |

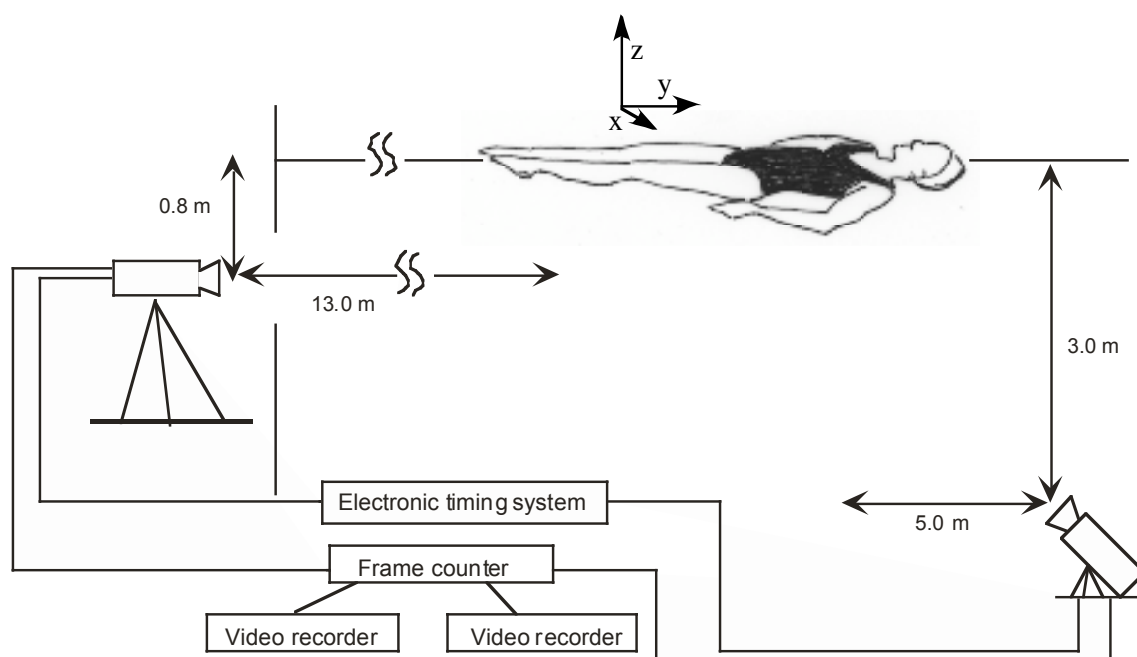


Figure 18 Schematic diagram of experimental set-up at present study.

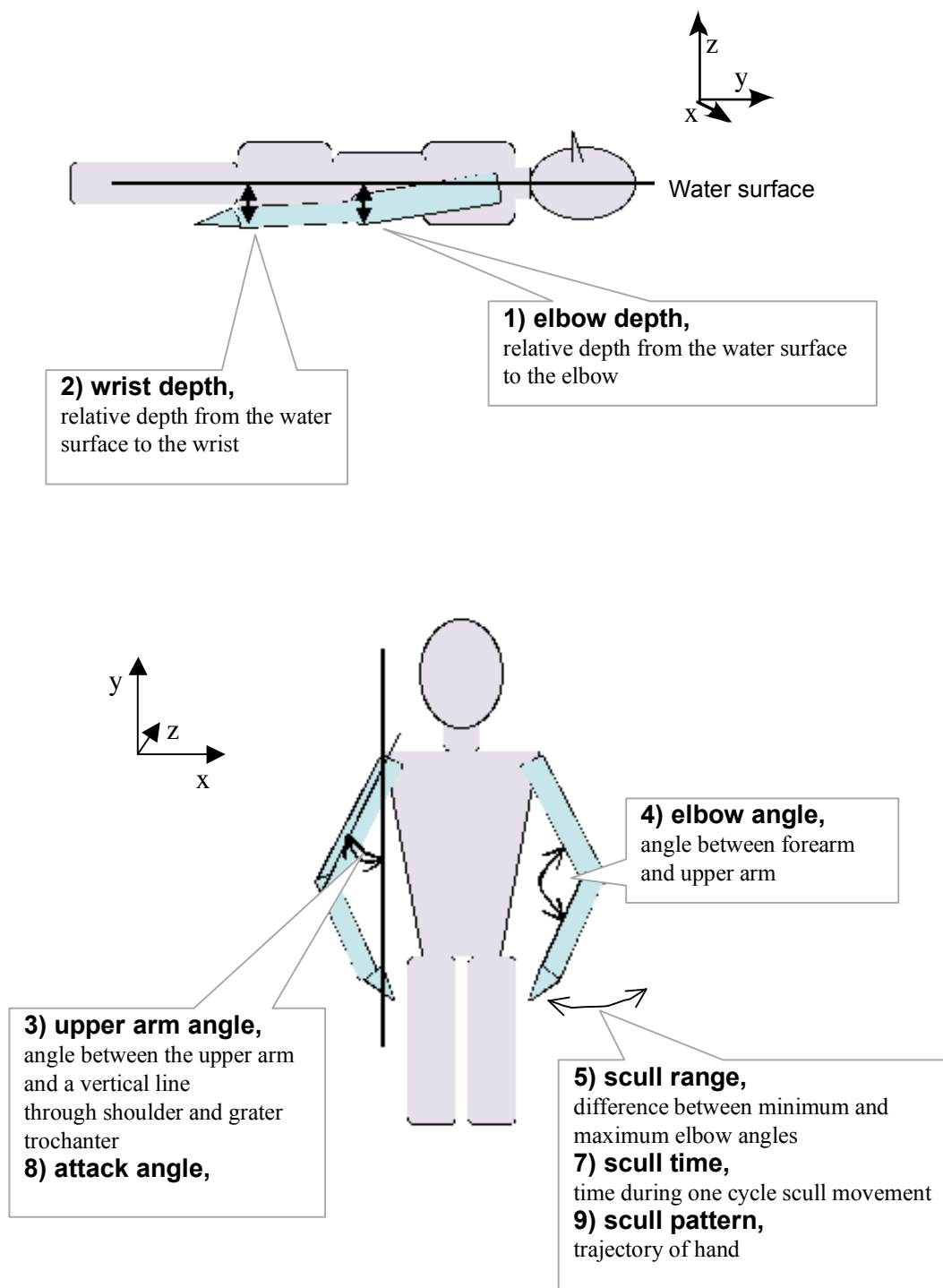


Figure 19 Definition of analyzing items.

- | | |
|----------------|---|
| 5) スカルレンジ | 1 サイクルで手が動いた角度範囲。肘角度の最大値と最小値の差をスカルレンジとした。 |
| 6) 肩-肘-手首の位置関係 | 肩を原点としたときの肩-肘-手首の x, y, z 軸の位置関係。 |
| 7) スカルタイム | 1 サイクルにかかった時間。 |
| 8) 迎え角 | 運動方向に対する手の迎え角。 |
| 9) スカルパターン | 1 サイクル中の手先の軌跡と手首の軌跡。水面に伸ばした脚の方からみた (x-z 平面上に投影した) スカルパターンを分析した。 |

(5) 統計処理

計測値には左右の平均値を用い、データは平均値 \pm 標準偏差で示した。最大値と最小値との差を動作範囲とした。それぞれの分析項目において、オリンピック群 (Excellent Group) と B 代表群 (Good Group) 間には母分散が等しくない t 検定、負荷なしと 1.5 kg 負荷試技間には対応のあるスチューデントの t 検定により、平均値の差の検定を行った。有意水準は 5 % に設定した。

4.1.3 結果

オリンピック群 (4 名)、B 代表群 (6 名) の負荷なしおよび 1.5 kg 負荷時における肘の深さ、手首の深さ、上腕角度、肘角度およびスカルレンジの平均値を Table 9 に示した。平均値の有意差検定を行った結果、負荷なしと 1.5 kg 負荷の間に、およびオリンピック群と B 代表群との間に、それぞれ有意な差はみられなかった。

(1) 肘と手首の水面からの深さ (肘と手首の対水面高)

Figure 20 にオリンピック群 F 選手のフラットスカルの 1 サイクル中の肘と手首の対水面高の変化を示した。肘の対水面高は、アウトスカルとインスカルの両方のストローク局面でほとんど変化がなく、一定していた。手首の対水面高は、インスカルのストローク局面で水面に近くなり、アウトスカルのストローク局面で深くなった。つまり、手首は外側の移行局面より内側の移行局面の方が高かったことから、手のストロークは水平に動いているのではなく、わずかに内側が高く外側が低い傾斜を伴って動いていることがわかった。そして手首は

Table 9 Elbow and wrist depth and upper arm and elbow angle depend on no load and 1.5 kg load conditions for Excellent Group and Good Group

			<i>Excellent Group (n = 4)</i>				<i>Good Group (n = 6)</i>			
			<i>no load</i>		<i>1.5 kg</i>		<i>no load</i>		<i>1.5 kg</i>	
			<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
Mean relative elbow depth	mm		-190	12	-179	13	-187	19	-182	32
Mean relative wrists depth	mm		-237	9	-210	16	-222	27	-214	37
Upper arm angle	°	<i>max</i>	59	0	59	3	60	5	62	5
		<i>min</i>	49	2	51	2	49	3	49	3
		<i>range</i>	9	2	9	1	11	3	13	4
Elbow angle	°	<i>max</i>	176	1	175	3	173	3	173	2
		<i>min</i>	126	5	129	5	126	7	131	7
Scull range	°	<i>range</i>	50	5	46	3	46	10	41	7

range: max - min

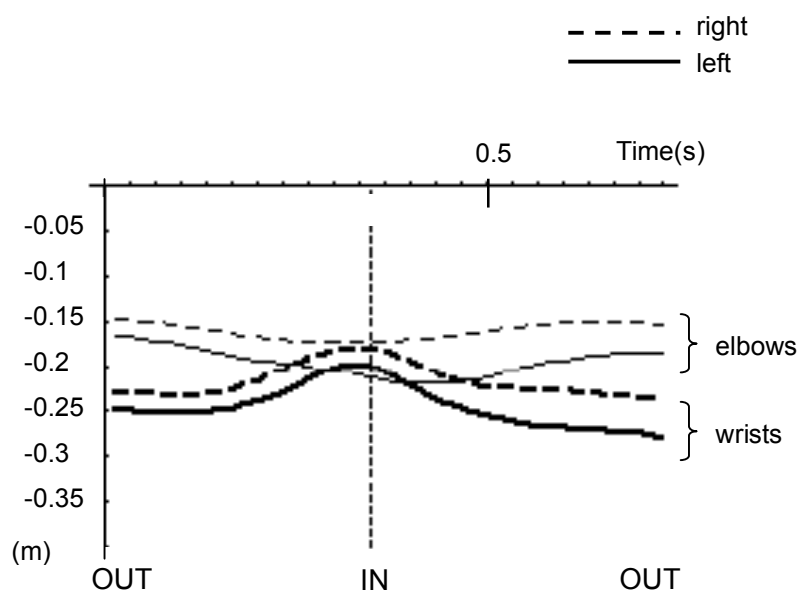


Figure 20 Changes in depth of elbow and wrist during sculling for swimmer F, Excellent Group with no load. Zero (0) m of vertical axis indicates the water surface.

内側移行局面のときに肘とほぼ同じ高さになった。外側の移行局面では、肘の方が手首より高い位置にあり、内側の移行局面では手首と肘の高さはほぼ同じであった。これらの特徴はオリンピック群だけでなく全選手に共通してみられた。

オリンピック群における肘と手首の対水面高をみると (Table 9), 負荷なし試技では、肘は水面より -190 ± 12 mm, 手首は水面より -237 ± 9 mm の深さにあった。1.5 kg 試技では、肘は水面より -179 ± 13 mm, 手首は水面より -210 ± 16 mm の深さにあった。オリンピック群および B 代表群において、負荷なし試技と 1.5 kg 負荷試技を比較すると、両者間にいずれも有意な差はみられなかった。

(2) 上腕角度

Figure 21 にオリンピック群 K 選手および B 代表群 Y 選手のフラットスカルの 1 サイクル中の上腕角度変化を示した。Table 9 に示したように、オリンピック群の負荷なし時の上腕角度最大値は $59 \pm 0^\circ$, 最小値は $49 \pm 2^\circ$ で、動作範囲は $9 \pm 2^\circ$ であった。一方、B 代表群の負荷なし時の上腕角度最大値は $60 \pm 5^\circ$, 最小値は $49 \pm 3^\circ$ で、動作範囲は $11 \pm 3^\circ$ であった。1.5 kg 負荷時の動作範囲は、オリンピック群が負荷なし時とほぼ同値を示したのに対し、B 代表群は負荷なし時よりもわずかに大きくなった。オリンピック群と B 代表群間に有意差はみられなかったが、オリンピック群の方が動作範囲が小さく、上腕が固定されている傾向にあった。波形をみると、最大値は外側の移行局面時に現れ、最小値は内側の移行局面で現れた。

(3) 肘角度とスカルレンジ

Figure 22 にオリンピック群 H 選手のフラットスカルの 1 サイクル中の肘角度変化を示した。負荷なし試技におけるオリンピック群の肘角度最大値は $176 \pm 1^\circ$, 最小値は $126 \pm 5^\circ$ で、スカルレンジは $50 \pm 5^\circ$ であった (Table 9)。B 代表群の肘角度最大値は $173 \pm 3^\circ$, 最小値は $126 \pm 7^\circ$ で、スカルレンジは $46 \pm 10^\circ$ であった。オリンピック群の方が最大値が大きく、スカルレンジが大きかった。負荷なしと 1.5 kg 負荷時を比較すると有意な差はみられなかったが、1.5 kg 負荷時に最小値が大きくなり、その結果、スカルレンジが小さくなった。最大値は外側の移行局面で現れ、最小値は内側の移行局面で現れた。

(4) 肩-肘-手首の位置関係

肩を原点 (0) とした肘と手首の x, y, z 軸の位置関係は、オリンピック群と B 代表群間、

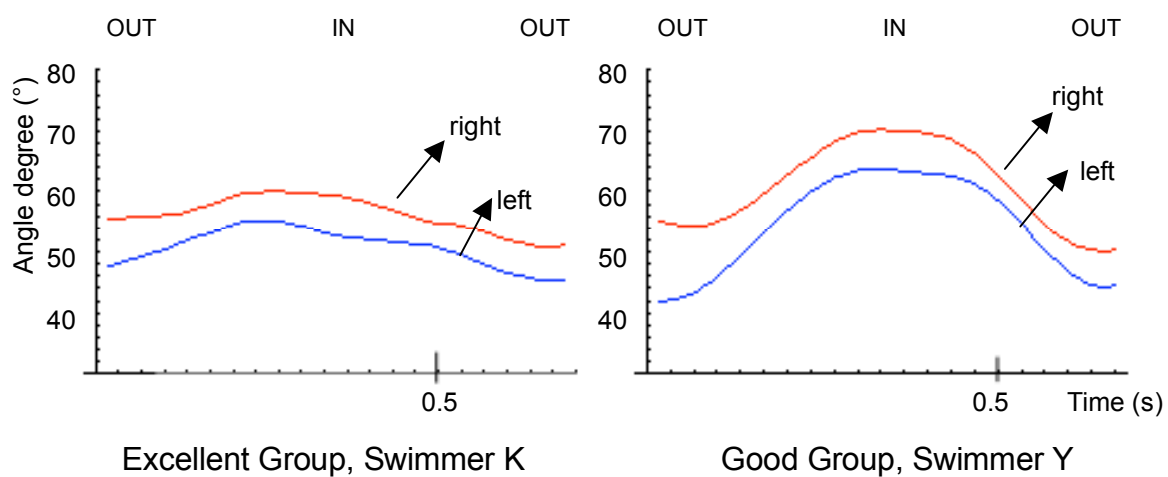


Figure 21 Changes in upper arm angle during sculling for swimmer K, Excellent Group and swimmer Y, Good Group with 1.5 kg load.

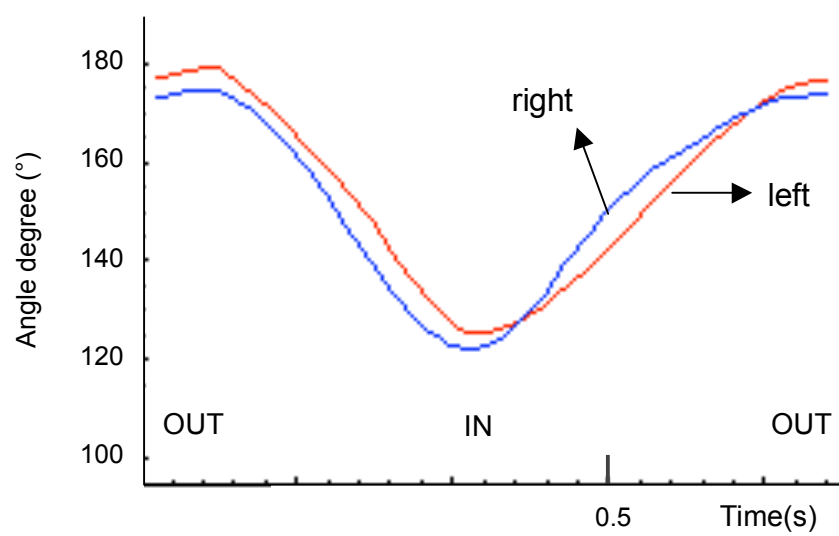


Figure 22 Changes in elbow angle during sculling for swimmer H, Excellent Group with no load.

および負荷なし試技と 1.5 kg 負荷試技間に有意な差はみられなかった。肩を原点とした肘と手首の z 軸の位置関係は、オリンピック群の負荷なし時において肩がもっとも浅く、つぎに肘、手首の順に深い位置にあった。1 サイクル中の肩を原点とした肘、手首の x 軸の変化をみると、スカーリングの間、肘はほぼ固定されており、インスカルで手首は肩の線上まで戻っていた。

(5) スカルタイム

Figure 23 に 1 サイクルにかかったスカルタイムを示した。1 サイクル中、インスカルとアウトスカルのストローク局面はほぼ同じ時間であった。全選手の 1 名を除く 9 名が、負荷なし時より 1.5 kg 負荷時にスカルタイムが減少し、1.5 kg 負荷でのスカーリングタイムは負荷なしのスカルタイムより小さかった。とりわけ、インスカルのストローク局面と 1 サイクルトータルのストローク局面において有意に小さく、負荷が増加するとインスカル局面を短時間にかき戻す特徴がみられた。オリンピック群と B 代表群間に有意な差はみられなかった。

(6) 迎え角

Figure 24 にオリンピック群 F 選手の手迎え角の変化を示した。オリンピック群 4 名の手の迎え角は、負荷なし時の移行局面では外側約 70-80°、内側約 60°、インスカルとアウトスカルのストローク局面では約 20-40°、オリンピック群 4 名の 1.5 kg 負荷時の移行局面では外側約 70-80°、内側約 40-60°、ストローク局面では約 20-40°であった。上位選手ほど迎え角の変化はスムーズで均等であった。

(7) 手先と手首のスカルパターン

Figure 25 は、水面に伸ばした脚の方から見たときの、オリンピック群 F 選手の手先と手首のスカルパターンである。Figure 25 の左図が右手、右図が左手の描いた軌跡である。負荷なしおよび 1.5 kg 負荷の両方において、ほぼ全員の選手の手先のスカルパターンは内側の尖ったしずく型を描いた。それは、内側が高く（水面に近く）外側が低い傾斜がついており、内側の移行局面が尖った形をしていた。手首のスカルパターンは、横長の楕円のループ型、もしくはかなり扁平の横 8 の字を描いていた。手先のスカルパターンも手首と同様に、内側が高く外側が低い傾斜がついていた。つまり、両手ともに身体のそばにかき戻したときに浅くなり、外へスカルしたときに深くなっており、両手のストローク局面が水平ではなく中央が

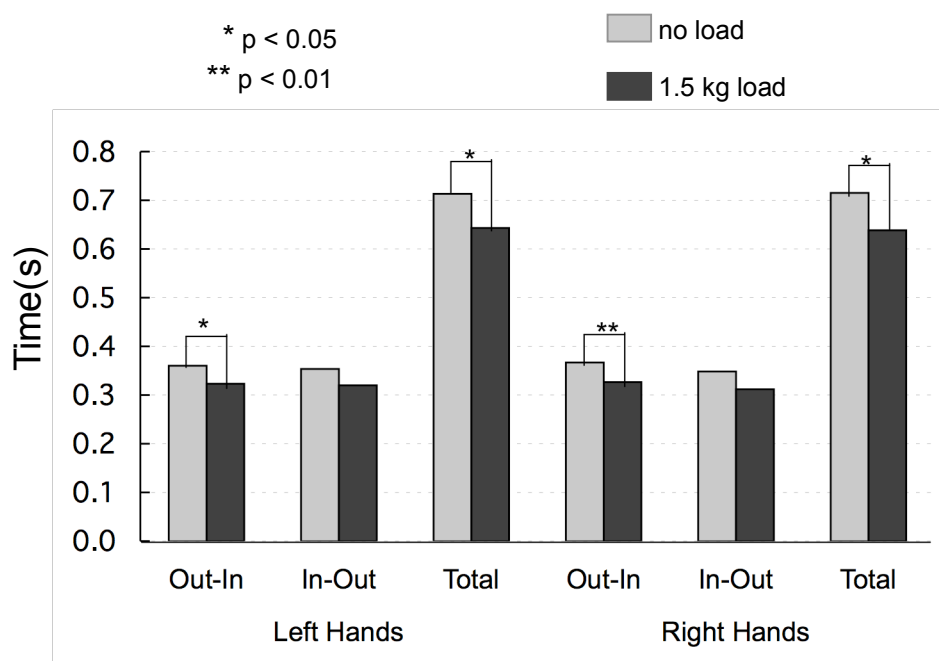


Figure 23 Mean sculling time for In scull (Out-In), Out scull (In-Out) and total scull cycle (Total) under no load and 1.5 kg load for right and left hands. Significant differences between no load and 1.5 kg conditions: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

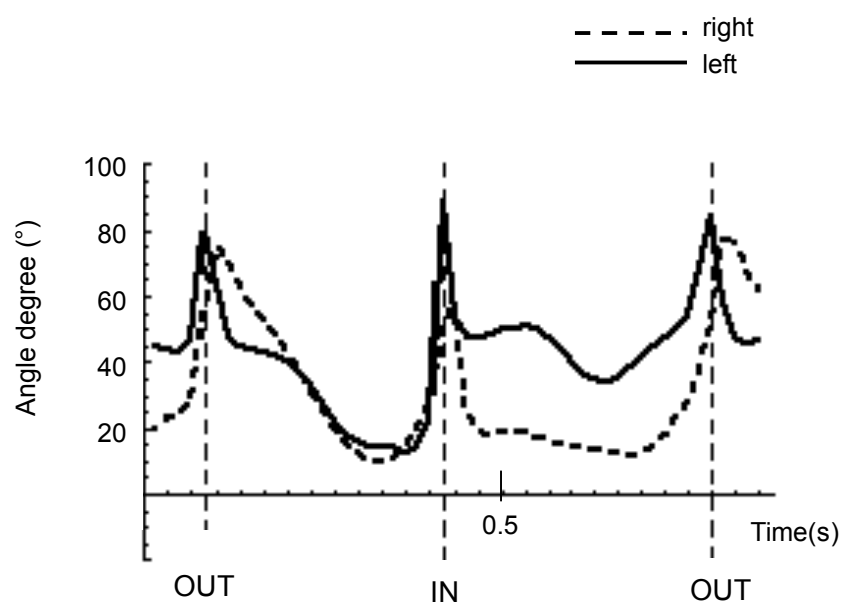


Figure 24 Changes in attack angle of the hand during sculling for swimmer F, Excellent Group with no load. An angle of 0 indicates a flat hand parallel to the direction of motion.

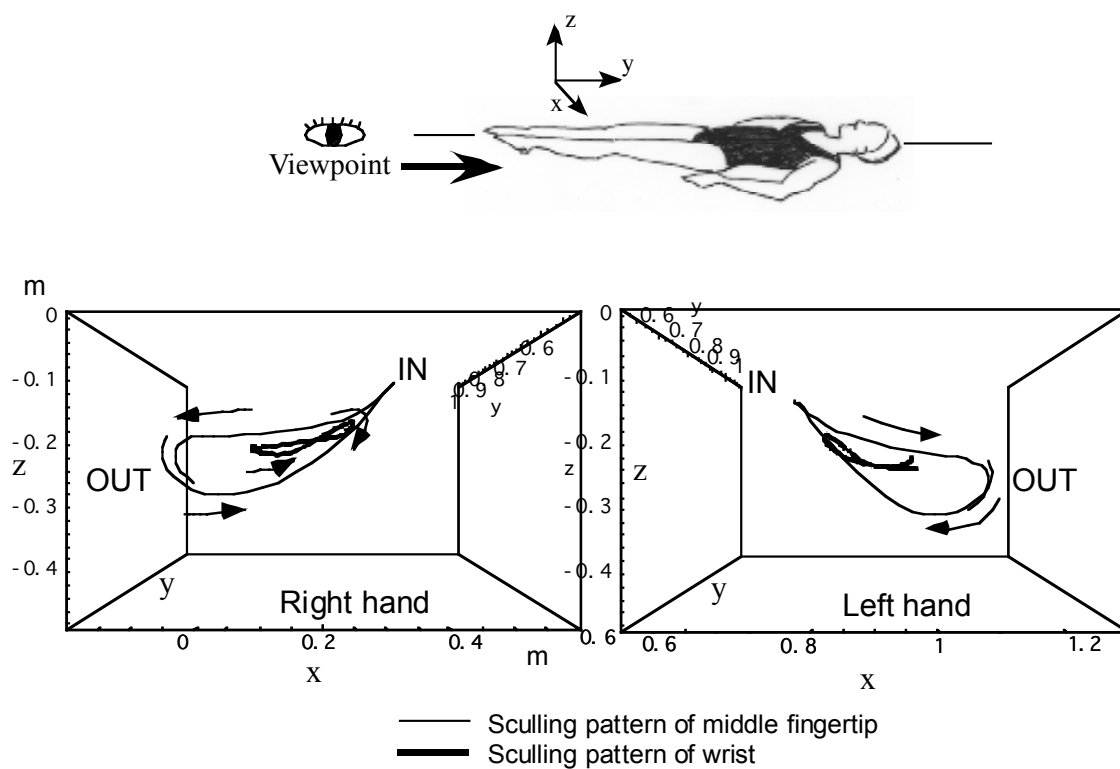


Figure 25 Right and left sculling patterns of middle fingertips and wrists for swimmer F, Excellent Group under 1.5 kg load condition. The sculling pattern of wrist is a slanting sideways figure eight. The sculling pattern of middle fingertip is a sharp-pointed figure like a drop shape.

わずかに高い山形を描いた (Figure 26)。

4.1.4 考察

肘と手首の対水面高の結果から、肘の対水面高が一定しており、ほとんど動かないこと、手首は肘より深い位置でスカルしていたこと、手首は水平に動いているのではなく、内側が高く外側が低い傾斜を伴って動いていることが特徴的であった。また、肩を原点とした肘と手首の位置関係をみた結果、肘よりも手首が深い位置にあることがわかった。Zielinski (2001c) は肘が外を向くのは間違ったポジションで、肘は下（プールの底）を向くのが正しいポジションであると述べており、本研究から得られた結果と異なった見解を示している。しかし、肘を外に張り、手を肘より深い位置にセットすることは、支持ベースが広く安定し、肘を支点にした前腕の回転動作を水平面上で容易にするため、揚力を得やすい動きを実現できる。さらに前腕と手の両方で推進力を生むことができる。これらのことより、フラットスカルでは肘を曲げて外に張り、高く保つことが重要な指導観点といえる。

オリンピック群と B 代表群を比較すると、オリンピック群の上腕は B 代表群に比較して固定されていた。この結果は、肘を支点に前腕でスカルすることを意味しており、スカーリングの推進力効率は肩よりもむしろ肘によって生じていることを示唆した Zinzen (1992) の EMG の研究結果と関係していた。また、肘を支点にし前腕でスカルすることは、肩甲骨の動きを最小限にとどめるため、姿勢の安定につながると考えられる。そして、数多くの指導解説書に、上腕と肘をできるだけ固定することがスカーリングの技術ポイントとして述べられている (DeNegri and McGowan, 2005; Muir, 1981a, b; Nesbitt, 1991; Reeves, 1975)。このことから、上腕と肘をできるだけ固定し、肘を外に張ってスカルすることが、スカーリング技術の向上に有益であるといえる。また、オリンピック群は B 代表群と比較して、肘角度の最大値が大きく、動作範囲が大きかったことから、肘を支点とした前腕のストローク面積が大きいことが明らかとなった。これより、特別な負荷のない上向き水平姿勢でのフラットスカルのスカレンジは、肘が伸び切る直前まで外側にスカルすることも技術指導観点のひとつとしてあげられる。

さらに、手先のスカルパターンは、負荷なしと 1.5 kg 負荷時のいずれにおいても、ほとんどの選手が内側の尖ったしずく型を示し、複数の指導解説書 (DeNegri and McGowan, 2005; 本間, 1992; Lundholm and Ruggieri, 1976; 元好, 1990; Yates and Anderson, 1958; 財団法人日本水泳

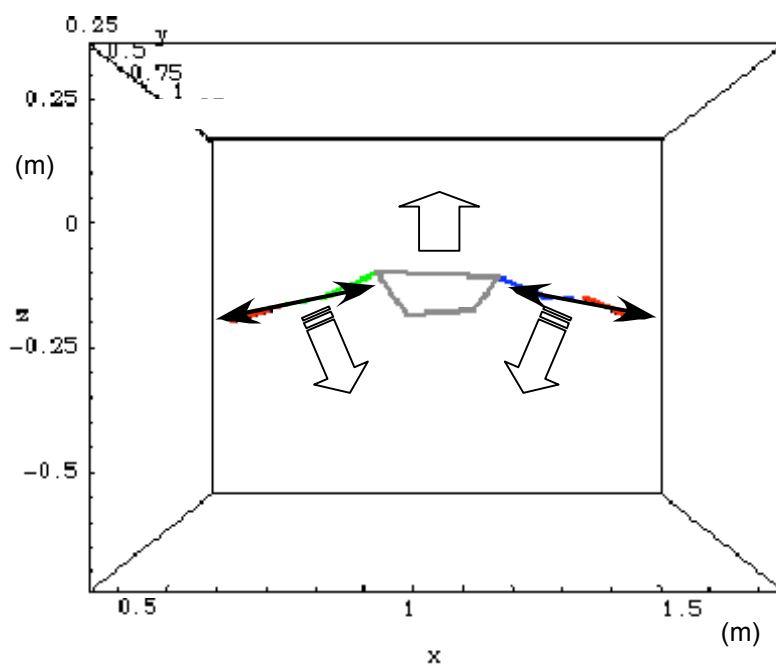


Figure 26 Right and left stroke phases have small incline, not horizontal. It is suggested that inclines of stroke phases cause stability of side to side.

連盟シンクロ委員会, 2002; Zielinski, 2001c, 2005; 図司, 1990, 1993)に記述されているような横 8 の字を描かなかった。とりわけ特徴的であったのは、全選手に共通して外側の移行局面で手が水底に向かって垂直方向に動いている局面が観察され、外側で大きな弧を描いたことである。これは揚力だけで姿勢を支持するには十分な推進力を得られないためスカーリングの外側で抗力を生み出すように下方へ水を押しているのではないかと推察される。そして、シンクロナイズドスイミングでは水上の身体部分の高さと安定性を得るために、できるだけ水面が波立たないようにスカルすることが望ましいとされている。例えば、上向き水平姿勢において内側に向かって水を強く押しすぎると身体の上（前面）に水がかぶってしまい、水上に身体を完全に浮かせることができない。それゆえ、内側で手のひらをすばやく切り返し、外へ強くスカルしているために、横 8 の字ではなく内側の尖ったしずく型のスカルパターンを描いているのではないかと考えられる。

さらにこれまでの概念では水平面でスカーリングすることが良いと考えられていたが、すべての選手においてストローク面は水平ではなく、内側が高く外側が低い傾斜がついており、両手で山の形を描いていた (Figure 26)。これは、フラットスカルのスカーリング位置が重力のかかる身体の下ではなく、身体の外側でスカーリングしているため、外側の方が圧力をかけやすいからだと考えられる。さらに身体のバランスを保持するために適切なストローク面の角度が必要なのではないかと推察される。このことは伊藤 (2005) の示唆する、安定したスカーリング状態は両腕のストローク面が「ハ」の字または「逆ハ」の字型になった方が左右の横方向の力が拮抗するので横方向にも安定しやすいという見解を裏付けるものであった。おそらく選手はできるだけ水平に前腕を動かしているものの、結果的にはわずかな傾斜がみられ、それが安定性につながっているのではないかと推察される。それゆえ指導観点としては、できるだけ水平に動かすように指示するのがよいと考えられる。どれくらいの傾斜角度がもっとも効率よい安定性を生むのかについて、今後、さらなる研究が必要である。

次に負荷なしと 1.5 kg 負荷時のフラットスカルを比較すると、1.5 kg 負荷時のスカルタイムが有意に短くなった。特にインスカルのストローク局面のスカルタイムが有意に小さくなったことから、負荷が増加するとインスカル局面ですばやくかき戻す傾向がみられることがわかった。また、1.5 kg 負荷時に前腕のスカルレンジの最小値が小さくなり、結果的に 1 サイクルのスカルレンジが小さくなったことは、インスカルのストローク局面のスカルタイムが短くなった結果と関連している。すなわち負荷が増えるにつれてスカルテンポが増加し、スカルレンジが減少することが明らかとなった。負荷が増えるにつれ、スカルレンジが小さ

くなり、テンポが上がることはカナダの元ナショナルコーチの技術解説（Muir, 1981b）および Zielinski（2001b）による技術解説書においても記述されており、本研究でそれを実証したことになる。さらに、本研究では負荷なしと 1.5 kg 負荷時のいずれにおいても 1 サイクルのインスカルとアウトスカルのストローク局面が同じ時間を示した。アメリカのナショナルコーチの Nesbitt（1991）はフラットスカルの技術ポイントのひとつにインスカルとアウトスカルの同じテンポでスカーリングすることを述べており、本研究結果はそれを支持するものであった。

本研究におけるオリンピック群の手の迎え角は、負荷なし時と 1.5 kg 負荷時に差異はみられず、手のひらの向きを切り替える移行局面では外側約 80°、内側約 60°、ストローク局面では約 20-40°であった。移行局面では手のひらの向きを逆方向に変えるため、一時的に迎え角が大きくなりほぼ運動方向に対して垂直に近い値までに達することが観察された。スカーリングパターンの結果と比較検討すると、内側の移行局面では尖った軌跡を描いたことから、素早く手のひらの向きを切り替えながら外方向に水を押し出しアウトスカルに入っていると考えられる。その一方で、外側の移行局面は水底方向に手が動き半円を描くようなパターンがみられ、迎え角も 80°近くに達していたことから、下方に抗力成分の大きい推進力を発生させるような動きをしながらインスカルに戻していることがわかった。そして、インスカルとアウトスカルのストローク局面では、約 20-40°の間で迎え角をスムーズに変化させていた。これまで発行された指導書のほとんどに適度な迎え角をつけることが必要と記述されているが、具体的な迎え角の数値を示した解説書は数えるほどである。Reeves（1975）はアウトスカル時には手のひらを小指側に 45°上げ、インスカル時には親指側に 45°上げてスカルすると述べている。Schleihauф（1979）は手のモデル実験によって定常状態での推進力の抗揚力発揮の割合を示し、約 40°の迎え角がもっとも揚力成分の大きい角度であることを明らかにしている。DeNegri and McGowan（2005）はコーチマニュアルの中で、Schleihauфの研究結果を引用し、スカル時の最適の迎え角は 40°であると示している。また、Zielinski（2005）もコーチマニュアルにおいて Schleihauфの研究結果を用い、水泳でもっとも効率的に揚力発揮ができる迎え角は 40°であること、および一流水泳選手は 20-50°の迎え角をつけていると述べている。本研究でみられたストローク局面での迎え角は、おおむね揚力成分の貢献の大きい迎え角になっていた。しかしながら、スカーリングは非定常での動きであるため、今後さらなる研究が必要と考えられる。

シンクロナイズドスイミングの動作遂行時にはできるだけなめらかで安定した動作が望ま

れる。横 8 の字または内側の尖ったしずく型のスカルパターンのいずれであっても、その縦幅はできるだけ小さい方が身体の上下の揺れを最小限に押さえることができる。それゆえ、本研究においてストローク局面の迎え角が 20-40°であったことから、安定性の高い動作遂行のためには迎え角をつけすぎないことが重要と思われる。

4.2 荷重負荷の違いによるフラットスカル動作の比較 【研究課題 1-2：実験 2】

4.2.1 目的

研究課題 1-1：実験 1 において、一流シンクロナイズドスイミング選手の上向き水平姿勢時のフラットスカルの動作特性を 3 次元画像分析によって明らかにした。しかし、実際の演技では脚を水上に挙上した荷重負荷の加わった姿勢でフラットスカルが用いられることが多い。フィギュア（基本姿勢と基本動作を組み合わせたものをフィギュアといい、競技では審判団の前にひとりずつ出て決められたフィギュアを行う）は、現在 194 種類が登録されており、フラットスカルを用いて行う上向き水平姿勢を含むフィギュアは 120 ある。さらに、そのうちの 75 はバレーレッグ姿勢を含んだものであり、14 はバレーレッグダブル姿勢を含んだものである。フィギュアは、その場で実施することに加えて、各姿勢の明瞭さ、動作の正確さ・なめらかさ、水上の脚と身体全体の高さが高いことが求められている（FINA, 2005, 2006, 2007）。水上荷重負荷が増えるに伴い、必要とされる推進力が変化するので、スカーリング動作に変化が生じると考えられる。しかしながら、過去にバレーレッグ姿勢、バレーレッグダブル姿勢時のフラットスカルの研究はなされていない。

そこで本研究は、シンクロナイズドスイミングの演技で用いられる水平系基本姿勢 3 種類におけるフラットスカル動作の比較を行い、水上荷重負荷の違いによってスカーリング動作がどのように変化するかを検討することを目的とした。

4.2.2 方法

(1) 被験者

2006 年度シンクロナイズドスイミング日本代表チームに所属する女子 11 名（ 20.5 ± 2.0 歳）を被験者とした。被験者 11 名の身体特性は、身長 1.61 ± 0.05 m、体重 52.8 ± 3.9 kg、Bod Pod（Life Measurement, Inc. USA）を用いた空気置換法による体脂肪率は $23.3 \pm 2.5\%$ であった。

(2) 試技

その場での上向き水平姿勢、バレーレッグ姿勢（右脚挙上）、バレーレッグダブル姿勢でのフラットスカルの 10–15 秒間行わせた (Figure 27)。3 つの試技ともに、安定した姿勢で維持できる最高の高さを保持するように指示した。3 つの姿勢は国際水泳連盟シンクロナイズドスイミングルール (FINA, 2005) において、次のように規定されている：

- 上向き水平姿勢： 水面に仰向けで浮き、顔、胸、腿、足先は水面で、身体を伸ばす。頭、腰、足首は一直線上におく。
- バレーレッグ姿勢： 身体は上向き水平姿勢。片脚は水面に垂直に伸ばす。
- バレーレッグダブル姿勢： 両脚を揃え、水面に垂直に伸ばす。頭は胴体の線上。顔は水面。

(3) 撮影方法

Figure 28 に実験構成図を示した。水中カメラ 1（シャッタースピード 1/100 秒，毎秒 60 コマ）を被験者の真下に位置するようにプールの底に置き，水中カメラ 2 を被験者の左斜め下方向から撮影できるようプール底に置いた。さらにもう 1 台のカメラを水中窓を通して水平に伸ばした脚の方から撮影できるように置いた。3 台のビデオカメラは外部同期信号発生装置とフレームカウンターによって同期させた。手動でのデジタイズ処理を容易にするため，被験者の大転子，肩，肘，手首，親指・小指・中指の先端，中手指節関節をホワイトテープでマーキングした。

撮影された画像はコンピュータに取り込み，Frame DIAS II (DKH Co., Japan) を用いて手動でデジタイズ処理を行った。デジタイズポイントは大転子，肩峰，肘，手首，第 2 指中手指節，第 5 指中手指節，第 3 指先端とした。3 次元座標は 3 次元 DLT 法 (池上, 1983; 池上ほか, 1991; Shapiro, 1978) により算出した。

基準座標系は水面にある任意の点を原点とし，Figure 28 に示したようにプールに対応して定義した。160 のコントロールオブジェクトポイントがある直方体 (1.0 m×1.0 m×1.2 m) を 3 次元 DLT コントロールオブジェクトとして使用した。以後，本研究での水面の高さはこの校正時のものを用いた。校正座標を再現した場合の標準誤差は，0.008 m (x 軸)，0.007 m (y 軸)，0.006 m (z 軸) であった。また，試技が移動を伴わない静止状態で行われることから，被験者の身体を画角いっぱいに撮影することができ，水泡の発生も殆どなかったため，手部のデジタイズポイントも十分に確認できた。3 次元の座標はローパスデジタルフィルタによ

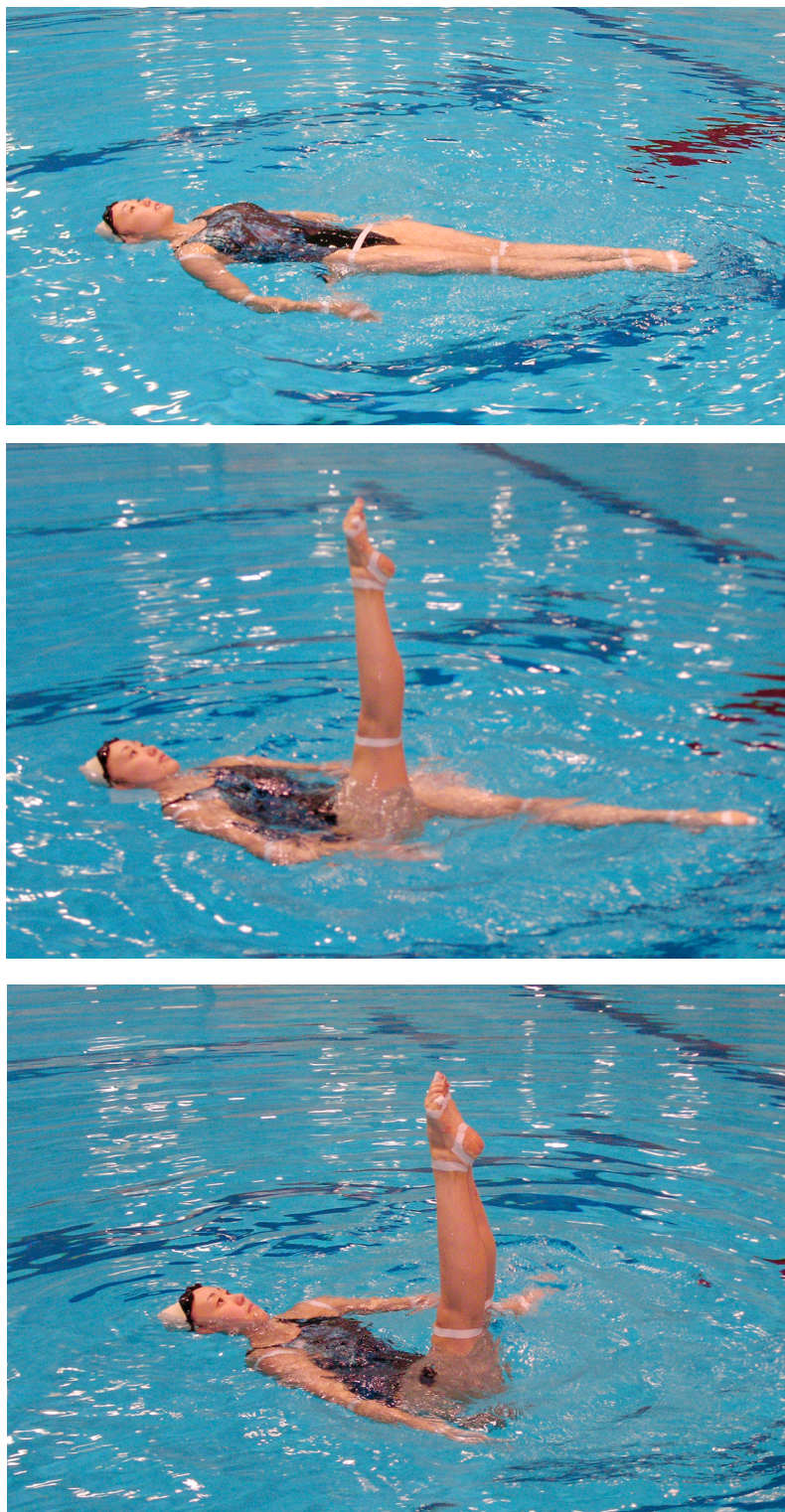


Figure 27 Back Layout Position (Top), Ballet Leg Position (Middle) and Ballet Led Double Position (Bottom).

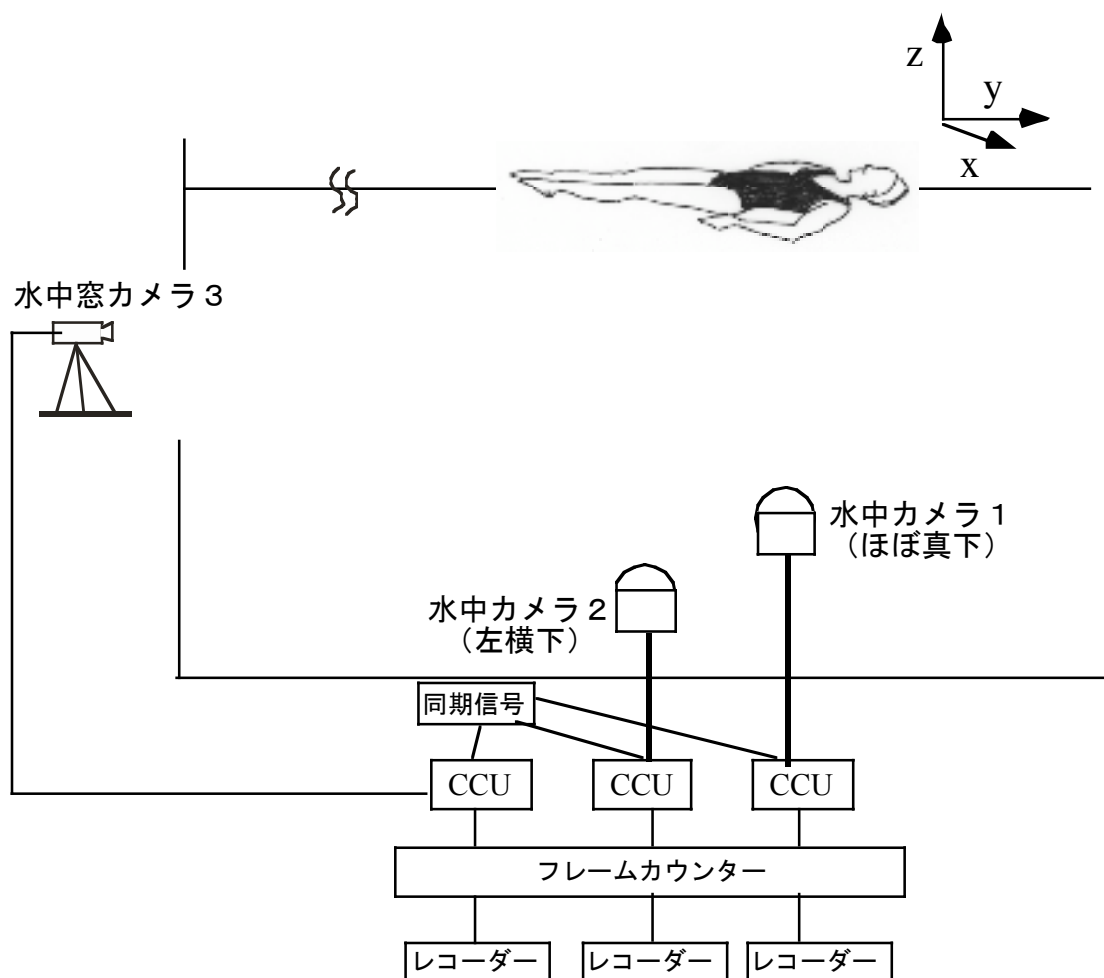


Figure 28 Schematic diagram of experimental set-up at present study.

り遮断周波数 6 Hz で平滑化した (Winter, 2005)。

(4) 分析項目

スカーリング動作は反復運動であるため、中間辺りの 1 サイクルを安定した動作を分析対象とした。フラットスカルの 1 サイクルの内側（肘が最大に曲がったとき）を開始点として分析した。

分析項目は Figure 29, および以下に示したとおりであった。Figure 30 に手関節角度（尺屈・橈屈, 掌屈・背屈, 手のひら角度）の定義（桜井ほか, 1990）を示した。

- | | |
|-------------------|---|
| 1) 大転子高 | 水面を基準とした大転子までの距離。 |
| 2) 上腕角度 | 水面 (x-y 平面) 上における上腕と体側（肩と大転子を結ぶ線分）のなす角。 |
| 3) 肘角度 | 前腕と上腕のなす角。 |
| 4) 手首尺屈・橈屈角度 | 手関節の尺屈 (+)・橈屈角度 (-)。 |
| 5) 手首掌屈・背屈角度 | 手関節の掌屈 (+)・背屈角度 (-)。 |
| 6) 手のひら角度 | 手部の長軸周りの角度。アウトスカル (内→外) とインスカル (外→内) の手のひらの向きを, 水平面を基準として観察するため, 手のひらを真下に向けた状態を 0° として算出した。+ は手のひらが内側に向いた状態, - は手のひらが外側に向いた状態を示す。 |
| 7) スカルタイム | 1 サイクルにかかった時間。 |
| 8) スカル速度 | アウトスカル (内→外) とインスカル (外→内) 時の手首の合成速度の最大値および平均値を求めた。 |
| 9) スカルレンジ | 1 サイクルで手が動いた角度範囲。肘角度の最大値と最小値の差をスカルレンジとした。 |
| 10) スカルパターン | 1 サイクル中の手先の軌跡と手首の軌跡。真下からみた (x-y 平面上に投影した) スカルパターンと水面に伸ばした脚の方からみた (x-z 平面上に投影した) スカルパターンを分析し, 観察によって類型化した。 |
| 11) スカルパターンの横幅・縦幅 | 水面に伸ばした脚の方からみた手先のスカルパターンの横幅 (x 軸の手の動作範囲: 最大値と最小値の差) と縦幅 (z 軸の手の動 |

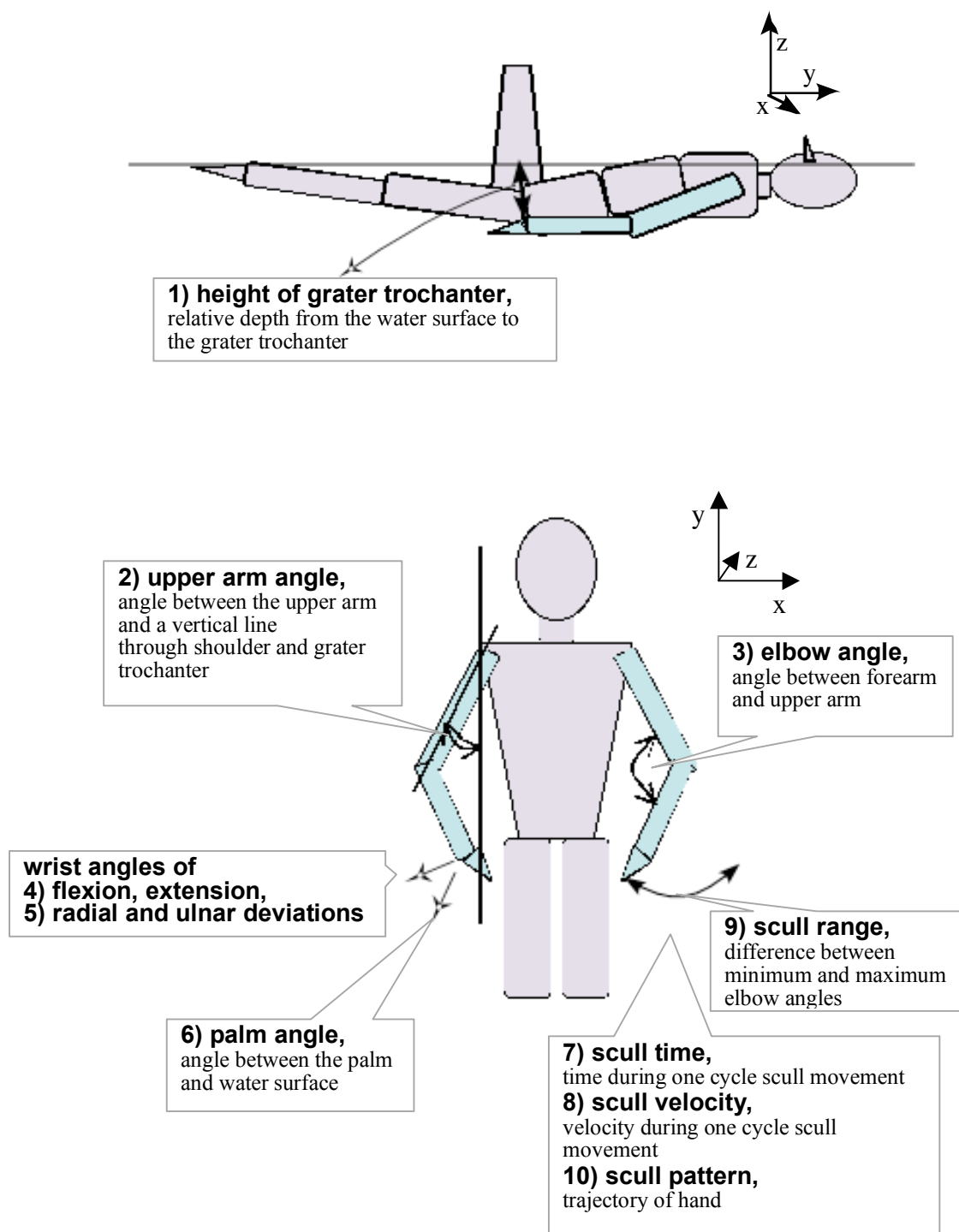


Figure 29 Definition of analyzing items.

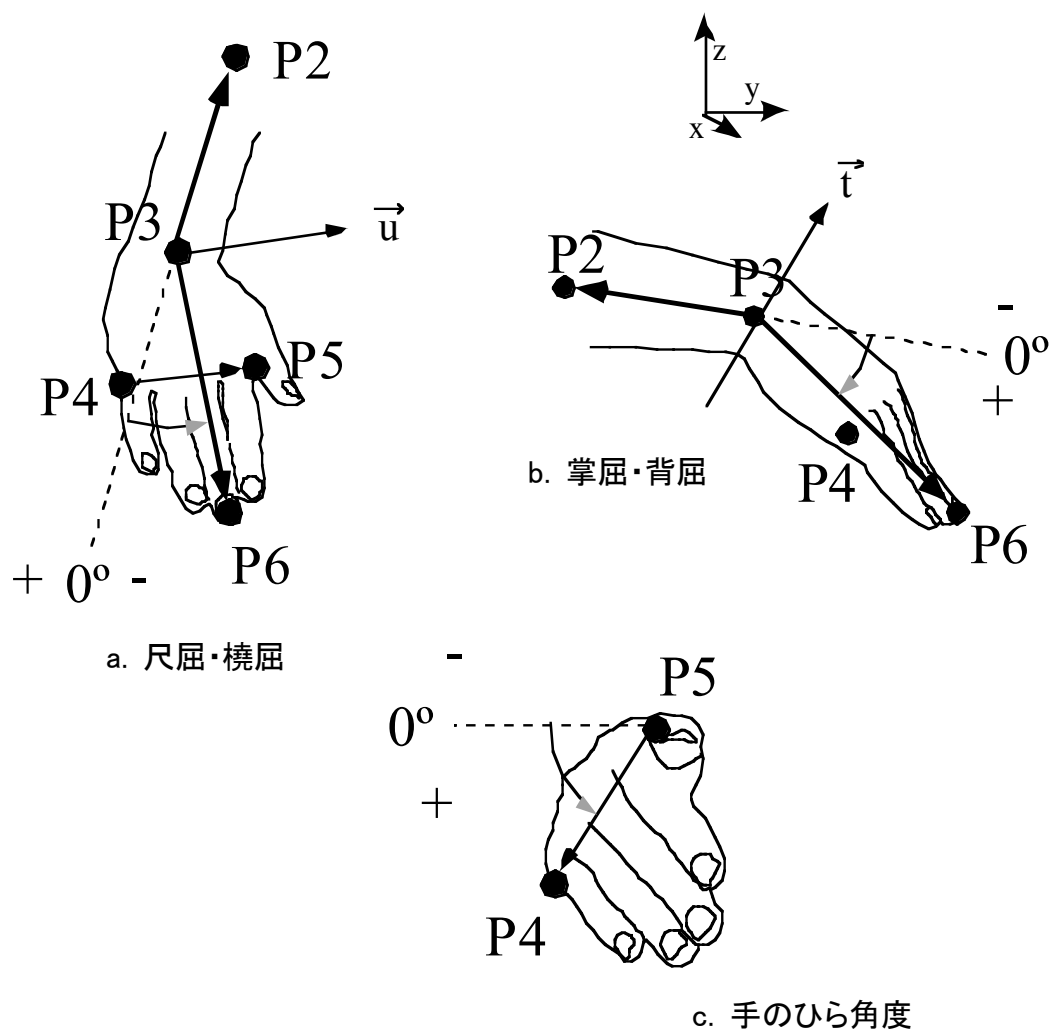


Figure 30 Determining the wrist joints angles (桜井ほか,1990).

P2,P3,P4,P5,P6 はそれぞれ、肘、手首、第5指中手指、第2指中手指、第3指先端をあらわす。

a.尺屈・橈屈：P2-P3 と \vec{u} (P4-P5 を平行移動したもの) がなす平面に投影された P6-P3 と P2-P3 のなす角度。

b.掌屈・背屈：P2-P3 と \vec{t} (P2-P3 と \vec{u} の外積) がなす平面に投影された P6-P3 と P2-P3 のなす角度。

c.手のひら角度：P2-P3 に垂直な平面に投影された P4-P5 と基準線のなす角度。

作範囲：最大値と最小値の差），および横幅-縦幅比（縦幅/横幅）を分析した．

(5) 統計処理

本研究の結果は，11名の平均値，もしくは11名の平均値±標準偏差で示した．各角度の最大値と最小値の差を動作範囲とした．

バレレグ姿勢は右脚のみを挙上する姿勢であるため，上肢の分析項目の左右差をスチューデントの t 検定を用いて分析したところ，バレレグ姿勢で有意な左右差がみられたのは手首の尺屈・橈屈・掌屈，手のひら角度のアウトスカルピーク値のみであった．そして，それらの分析項目は他の姿勢においても同様に有意な左右差がみられ，バレレグ姿勢特有の特徴はとくに認められなかった．そこで，本研究では，上肢に関する分析項目は左右の平均値を用いた．

一元配置の分散分析にて，分析項目ごとに，上向き水平姿勢，バレレグ姿勢，バレレグダブル姿勢の3姿勢間の左右平均値の差の検定を行った．統計的有意差が認められたものに関しては，Scheffeの方法を用いて多重比較検定を行った．また，身体密度との関連を検討するために，体脂肪率と大転子高（左右平均），体脂肪率とスカルタイム（左右平均）の間の相関係数を求めた．有意水準は5%に設定した．

4.2.3 結果

(1) 体脂肪率と大転子高，スカルタイムとの関係

すべての姿勢において体脂肪率と大転子高の間には有意な相関関係は認められなかった．バレレグ姿勢においてのみ体脂肪率とスカルタイムとの間に有意な相関関係（ $r = 0.318$, $p < 0.05$ ）が認められた．

(2) 大転子高

Table 10 に上向き水平姿勢，バレレグ姿勢およびバレレグダブル姿勢における大転子高と，フラットスカル1サイクル中の上肢に関する変数のピーク値と動作範囲を示した．

上向き水平姿勢，バレレグ姿勢，バレレグダブル姿勢の平均大転子高は，上向き

Table 10 Upper arm parameters during one cycle of flat scull and heights of grater trochanter in Back Layout position (Layout), Ballet Leg position (BL) and Ballet Leg Double position (BLD)

			上向き水平姿勢			バレレグ姿勢			バレレグダブル姿勢		
			Layout			BL			BLD		
			Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD	
大転子高	mm		-95	17	**,††	-198	47	††	-308	41	
上腕角度	°	最大値	55	3	**	48	4		52	5	
		最小値	47	3		34	3	**	34	4	††
		動作範囲	8	2	**,††	15	2		17	2	
肘角度	°	最大値	168	5		167	6		162	7	
		最小値	125	6	**	135	4		125	6	††
		動作範囲	43	6	**,†	32	4		37	4	
手首の尺屈(+) 橈屈(-)	°	尺屈ピーク値	19	5		19	3		19	3	
		橈屈ピーク値	-6	4	†	-3	3		-2	3	
		動作範囲	25	5	††	22	3		21	2	
手首の掌屈(+) 背屈(-)	°	掌屈ピーク値	22	5	*,††	15	7		12	4	
		背屈ピーク値	-12	6		-8	4		-7	7	
		動作範囲	33	10	**,††	22	6		19	5	
手のひら角度	°	インスカルピーク値	55	7	**,†	43	5		40	6	
		アウトスカルピーク値	-28	5		-33	6		-38	5	††
		動作範囲	83	10		75	7		79	7	
スカルタイム	s		0.7	0.0	**,††	0.5	0.0		0.5	0.0	
最大スカル速度	m/s	インスカル	1.0	0.1		1.5	0.1	**	1.6	0.1	††,††
		アウトスカル	1.0	0.1		1.4	0.1	**	1.5	0.1	††
平均スカル速度	m/s	インスカル	0.7	0.1		1.0	0.0	**	1.1	0.1	††,††
		アウトスカル	0.7	0.1		0.9	0.0	**	1.0	0.1	††,††
スカルレンジ	°		41	3	*	38	2		42	2	††
スカルパターン	mm	横幅	389	28		369	18		412	21	††
		縦幅	165	25	**,††	122	17		119	17	
	比	縦幅/横幅	0.4	0.1	**,††	0.3	0.0		0.3	0.0	

Mean: 11名の平均値(左右の平均), SD: 標準偏差. 動作範囲は最大値と最小値との差を示す.

手のひら角度は手のひらが真下を向いた状態を0°とした.

1%有意 Layout vs BL: **, Layout vs BLD: ††, BL vs BLD: ††

5%有意 Layout vs BL: *, Layout vs BLD: †, BL vs BLD: †

有意差を示すアスタリスクは, 最小値, 橈屈ピーク値, アウトスカルピーク値を除いて値の大きい方に付けた.

水平姿勢がもっとも高く、バレレッグ姿勢、バレレッグダブル姿勢の順に低下した。上向き水平姿勢とバレレッグ姿勢、上向き水平姿勢とバレレッグダブル姿勢、バレレッグ姿勢とバレレッグダブル姿勢のそれぞれの姿勢間に有意差が認められた。

(3) 上腕角度

上腕角度の最大値は、バレレッグ姿勢が上向き水平姿勢時の最大値より有意に小さかった。最小値はバレレッグ姿勢とバレレッグダブル姿勢が上向き水平姿勢よりも有意に小さかった。上腕角度の経時的变化をみると、最大値はアウトスカルの後、最小値はインスカルの最後でみられた。上腕の動作範囲は、バレレッグ姿勢とバレレッグダブル姿勢が上向き水平姿勢より有意に大きかった。

(4) 肘角度

肘角度の最大値は3姿勢間に有意差は認められなかった。上向き水平姿勢とバレレッグダブル姿勢はバレレッグ姿勢より最小値が有意に小さかったことから、バレレッグ姿勢では内側へのかき戻しが少なかった。肘角度の動作範囲は、上向き水平姿勢がバレレッグ姿勢とバレレッグダブル姿勢よりも有意に大きかった。

(5) 手首の尺屈・橈屈、掌屈・背屈角度および手のひら角度

上向き水平姿勢における手首の最大橈屈角度がバレレッグダブル姿勢よりも有意に大きい値を示し、上向き水平姿勢の尺屈・橈屈角度の動作範囲がバレレッグダブル姿勢よりも有意に大きかった。手首の掌屈・背屈角度は、上向き水平姿勢の最大掌屈角度がバレレッグダブル姿勢およびバレレッグ姿勢よりも有意に大きかった。掌屈・背屈角度の動作範囲は、上向き水平姿勢がバレレッグ姿勢、バレレッグダブル姿勢のそれよりも有意に大きかった。

Figure 31 はインスカルとアウトスカルの手のひらの向きを比較できるよう1サイクル中の手のひら角度を姿勢別に示したものである。Figure 31 からは読み取れないが、手のひら角度の経時的变化をみると最大値はインスカルの中間で、最小値はアウトスカルの中間でみられた。上向き水平姿勢では、インスカル時に手のひらが水面に対して最大 $55 \pm 7^\circ$ まで内側に返され、バレレッグ姿勢およびバレレッグダブル姿勢よりも有意に大きかった。また、上向き水平姿勢でのアウトスカル時は手のひらの外側への返しが $-28 \pm 5^\circ$ でバレレッグダブル

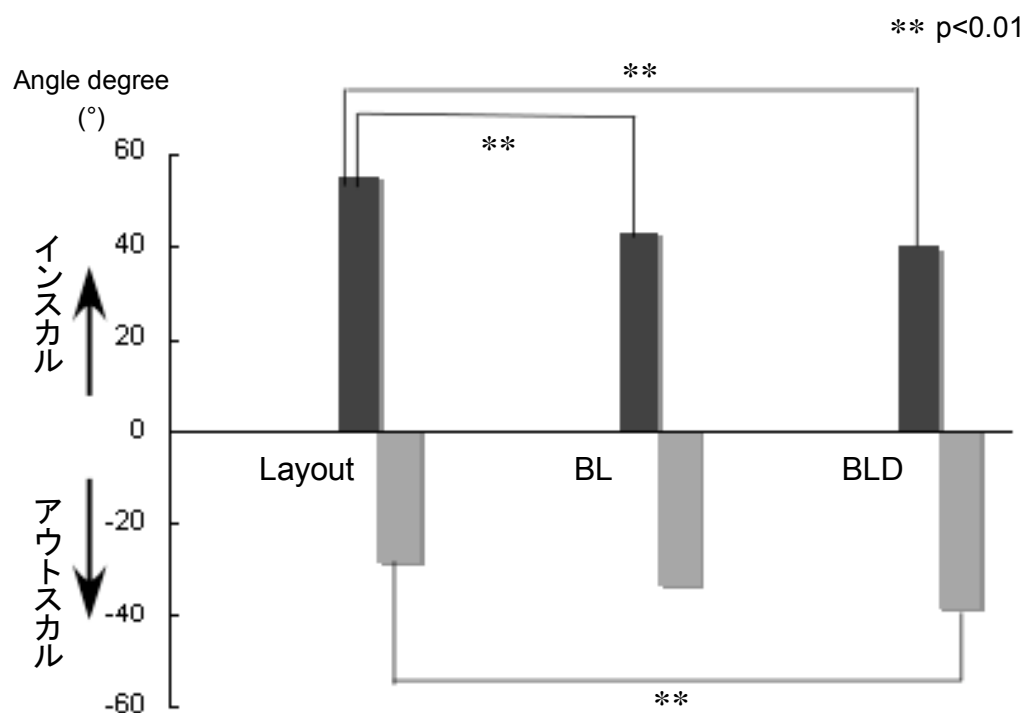


Figure 31 Peak angles of the palms during one cycle of flat skull in Back Layout position (Layout), Ballet Leg position (BL) and Ballet Leg Double position (BLD).

水面に対して手のひらが真下を向いた状態を 0°とした。

+ はインスカル時に手のひらが内側に向いた状態、

- はアウトスカル時に手のひらが外側に向いた状態を示している。

ル姿勢よりも有意に小さかった。上向き水平姿勢ではインスカルでの手のひら角度が大きく、インスカルとアウトスカルの手のひら角度が均等でなかったが、バレレグダブル姿勢ではほぼ均等になった。動作範囲は、姿勢間に有意差は認められなかった。

(6) スカルタイムおよびスカル速度

スカルタイム（1 サイクルにかかった時間）は、バレレグ姿勢とバレレグダブル姿勢の間には有意な差はみられなかったが、上向き水平姿勢とバレレグ姿勢、および上向き水平姿勢とバレレグダブル姿勢との間にそれぞれ有意差がみられ、脚を挙上するとスカルタイムが短くなった。

手首の最大速度は、インスカル（外→内）とアウトスカル（内→外）のいずれにおいてもバレレグ姿勢とバレレグダブル姿勢が上向き水平姿勢よりも有意に大きく、インスカルにおいてバレレグダブル姿勢がバレレグ姿勢よりも有意に大きかった。手首の平均速度は、インスカルとアウトスカルのいずれにおいてもバレレグ姿勢とバレレグダブル姿勢が上向き水平姿勢よりも有意に大きく、バレレグダブル姿勢がバレレグ姿勢よりも有意に大きい値を示した。

(7) スカルレンジ

上向き水平姿勢のスカルレンジはバレレグ姿勢よりも有意に大きく、バレレグダブル姿勢のスカルレンジはバレレグ姿勢よりも有意に大きかった。

(8) スカルパターン

Figure 32 に A 選手の水平に伸ばした脚の方からみた、上向き水平姿勢とバレレグ姿勢、およびバレレグダブル姿勢でのフラットスカルのスカルパターン（手先と手首が描いた軌跡）を示した。水平に伸ばした脚の方からみた手先のスカルパターンは、上向き水平姿勢では 8 名が、バレレグ姿勢では 7 名が、バレレグダブル姿勢では 6 名が内側の尖ったしずく型を描いた。また、上向き水平姿勢で 3 名が、バレレグダブル姿勢で 3 名が外側のサークルのかなり大きい横 8 の字型を描いた。そして、7 名の上向き水平姿勢の手先のスカルパターンは、内側の尖ったしずく型または外円の大きい横 8 の字型のいずれであっても他の 2 姿勢よりも縦幅が大きい U 型の弧を描いたのが特徴であった。そして、バレレグ姿勢、バレレグダブル姿勢と移行するにしたがってアウトスカルの軌跡が水平に近く

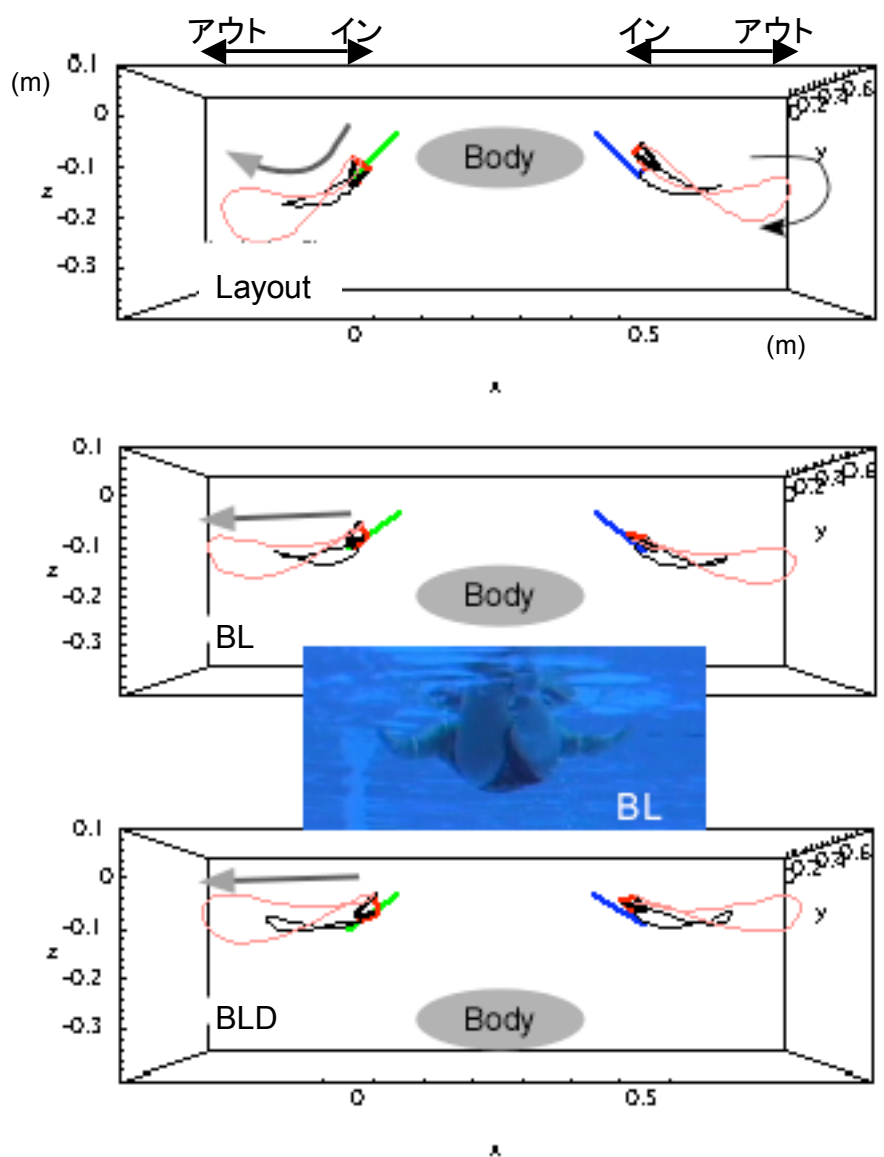


Figure 32 Flat scull patterns for swimmer A, Excellent Group in BackLayout position (Layout, Top), Ballet Leg position (BL, Middle) and Ballet Leg Double position (BLD, Bottom).

奥が頭で手前に足を伸ばした状態。図中の写真は BL を水平に伸ばした脚の方からみたところ。Layout のアウトスカルのスカルパターンは U 型の弧を描いたが、BL と BLD では水平の軌跡を描いた。

なっていた。Table 10 に示したように、手先のスカルパターンの横幅は、バレレグダブル姿勢がバレレグ姿勢よりも有意に大きく、横幅の大きいスカーリングをしていた。縦幅は上向き水平姿勢に比べてバレレグ姿勢とバレレグダブル姿勢がそれぞれ有意に小さく、脚を挙上すると縦幅が狭くなった。スカルパターンの横幅に対する縦幅の比（縦幅／横幅）は上向き水平姿勢、バレレグ姿勢、バレレグダブル姿勢の順に値が小さくなり、上向き水平姿勢とバレレグ姿勢、上向き水平姿勢とバレレグダブル姿勢との間に有意差がみられた。すなわち、負荷が増すにしたがって縦幅が狭く横長で扁平なスカルパターンを描いた。他方、手首のスカルパターンをみると、手先のスカルパターンとは対照的に外側の尖ったしずく型もしくは内側のサークルがかなり大きい横 8 の字を描いた。そして、上向き水平姿勢では内から外に向かってやや鉛直方向に動き、バレレグ姿勢およびバレレグダブル姿勢では水平に近くなっていった。

真下からみたスカルパターンにおいては、バレレグ姿勢時の肘が他の姿勢よりも伸びた状態で内側への戻しが少なく、手の位置が脚に近いことがわかった。さらに、上向き水平姿勢では肘を外に張った状態でスカーリングしていた。

4.2.4 考察

本研究の結果から、上向き水平姿勢、バレレグ姿勢、バレレグダブル姿勢の 3 種の姿勢別にフラットスカル動作の特徴をまとめると Table 11 のようになる。

過去の研究より、平均体重 52.4 kg のシンクロナイズドスイミングオリンピック代表選手のバレレグ姿勢最高位（片脚を股まで挙上した高さ）の水上荷重負荷は 8.5 kgf、バレレグダブル姿勢は膝上 17 cm まで挙上した状態（被験者が維持できる最大の高さ）で 12.3 kgf、最高位（両脚を股まで挙上した高さ）で 19.1 kgf の水上荷重負荷がかかる（本間, 2000a）。本研究の被験者の平均体重は 53.1 ± 3.9 kg、競技レベルは日本代表選手であり、先行研究の被験者とほとんど変わらない。しかし本研究の試技はバレレグ姿勢とバレレグダブル姿勢のいずれも最高位ではなく、被験者が安定して維持できる最大の高さであったため、本研究でのバレレグ姿勢での荷重負荷は 8.5 kgf 未満、バレレグダブル姿勢は 12.3 kgf 程度であったろうと推測できる。

Hall（1996）は世界チャンピオンであったアメリカナショナルチーム選手 3 名のサポート

Table 11 Key differences in flat skull movements between Back Layout position (Layout), Ballet Leg position (BL) and Ballet Leg Double position (BLD)

	上向き水平姿勢	バレレレッグ姿勢	バレレレッグダブル姿勢
上腕	上腕のぶれが少ない。 肘を外に張っている。	上腕がわずかにぶれる。 肘の位置がもっとも身体に近	上腕がわずかにぶれる。
肘	肘の曲げ伸ばしが他の2姿勢より大きい。	肘の曲げ伸ばしがもっとも小さく、特に内側へのかき戻しが小さい。他の姿勢に比べて、肘が伸び気味。	
手首	脚を挙上したときよりも手首の腕屈・掌屈運動が大きく、手首の動きが大きい。	上向き水平姿勢よりも手首の腕屈の動きが小さい。	上向き水平姿勢よりも手首の腕屈・掌屈の動きが小さい。
手のひらの向き	インスカルとアウトスカルの水平面に対する手のひらの向きが均等でなく、インスカル時に大きく内側に返している。	上向き水平姿勢よりもインスカルの手のひら角度が減少し、アウトスカル時の手のひら角度が増加する。	バレレレッグ姿勢でみられた傾向がさらに強まり、インスカルとアウトスカルでの手のひらの向きが水平面に対してほぼ均等になる。
スカルタイム		上向き水平姿勢よりもスカルタイムが短くなる。	上向き水平姿勢よりもスカルタイムが短くなる。
スカル速度		上向き水平姿勢よりもスカル速度が大きくなる。	バレレレッグ姿勢よりもさらにスカル速度が大きくなる。
スカルレンジ		3姿勢の中でスカルレンジがもっとも小さい。	バレレレッグ姿勢と比べてスカルレンジが大きくなる。バレレレッグ姿勢と比べるとほぼ同
スカルパターン	3姿勢ともに手先の軌跡は内側の尖った型または外側のサークルが大きい横8の字型。		
水平に伸ばした脚の方からみたパターン	手先の軌跡がU型の弧を描き、縦幅が大きい。	アウトスカルの手先の軌跡が水平で、スカーリングの縦幅が小さくなる。	アウトスカルの手先の軌跡が水平で、スカーリングの縦幅が小さくなる。
真下からみたパターン	肘を外に張った状態でスカーリング。	他の姿勢よりも肘が伸びた状態で内側へのかき戻しが少なく、手の位置が足の方に寄る。	

スカルをキネマティクスの分析した研究において、体脂肪率が高く、水上に挙上する下肢が細い選手のスカルタイムがもっとも長く、ストローク面が水平に近かったことを明らかにした。この結果から、体脂肪率が高いことと水上に挙上する部分の軽いことが“floatability”に貢献しており、身体密度とスカーリング技術との間に何らかの関係があると結論づけている。本研究ではバレーレグ姿勢においてのみ被験者の体脂肪率とスカルタイムに相関関係が認められ、体脂肪率の高い選手の方がゆっくりとスカーリングをする傾向がわずかにみられたが、他の姿勢においては関係がみられなかった。また、体脂肪率と大転子高との間にも関係がみられず、Hall (1996) の結果を支持しなかった。これは Hall (1996) の研究は被験者が 3 名と少なかったこと、および実験試技が垂直姿勢であったため水中に浸水している体積が大きく身体密度の影響を受けやすい状態であったからではないかと思われる。しかし、一般的には体脂肪率が高い方が浮きやすいといわれていることから、身体密度とスカーリング技術との関係についてはさらなる研究の余地があると思われる。

上向き水平姿勢では、上腕角度が最大値、最小値ともに大きいことから、肘を身体から離れた状態で固定しスカーリングしている傾向がみられた。上向き水平姿勢時の上腕の位置について、Reeves (1975) は上腕を約 45°外転した位置で固定し、スカーリングするのが理想的と述べている。Zielinski (2001c) は、上腕角度については触れていないが、肘は身体より 6-9 インチ離れた位置で固定するのがのぞましいとしており、腕と背中で広いサポートベースを作ること強調している。Zielinski のインストラクションは実験で得られたデータではないが、本研究の結果と大きな相違はみられなかった。その一方で、Jones and Lindeman (1975) は上腕と身体とのなす角は 45°またはそれ以下がよいと示唆しており、本研究結果と異なった。相違がみられたのは、海外の指導書は海外の選手の動きをもとにして書かれており、本研究対象の日本選手とは身体セグメントの比率や身体密度が異なること、および我が国と海外の指導法が異なることなどが背景にあるからではないかと思われる。本研究では上向き水平姿勢時の上腕角度は 47-55°の範囲であったことから、45°あるいはそれよりわずかに外に肘を張った状態でスカーリングすることが指導観点としてあげられる。

上向き水平姿勢では他の 2 姿勢に比べて手首の掌・背屈および橈・尺屈が大きく、水平に伸ばした脚の方からみた手先のスカルパターンは縦幅の大きい U 型の弧を描き、スカル速度が小さかった。さらに手先と手首のスカルパターンの結果を総合して考察すると、上向き水平姿勢では、外側移行局面において手首の位置がほとんど動かず、手先を小指側から水底方向に大きく回して内側に戻っていたことがわかる。このことから、他の 2 姿勢では前腕と手

をユニットにして大きな推進力を発揮しようとしているのに対して、上向き水平姿勢では主に手だけで推進力を発揮しようとしているのだと推察できる。そして、上向き水平姿勢の外側移行局面で手先のスカルパターンが水底方向に動いていたのは、水を下方に押して大きな推進力を発揮しようとしているわけではなく、負荷が少ないためにゆっくりのスカルテンポで力をかけずに、手だけで軌跡を長くしてスカーリングしている結果であると考えられる。

さらに上向き水平姿勢ではスカルパターンがU型の弧を描いていたため、手のひらの向きがインスカル時に 55° まで傾き、アウトスカルで -28° を示したと考えられる。本研究では迎え角を分析していないが、上向き水平姿勢のスカル中の運動方向に対する迎え角は内側と外側でそれほど差がなく、一定に保たれていたのではないかと推察できる。さらに、3 姿勢の手のひらの動作範囲に有意な差がみられなかったことから、インスカルとアウトスカルにおける手のひらの動きの合計はどの姿勢においても差がなく、迎え角は内側と外側で均等に保たれているのではないかと推察される。他の 2 姿勢においては、荷重負荷が増えるとスカルテンポを上げ、水を下方へ押さえ続け途切れることなく大きな揚力を発揮させなければならないことから、前腕と手をユニットにし、手の向きをインスカルとアウトスカルでほぼ均等に浅い角度で一定させ、結果的に縦幅の小さい扁平のスカルパターンを描いたのだと考えられる。

多くの指導書や文献において、上向き水平姿勢時のスカルパターンは横 8 の字型を描くとされている (DeNegri and McGowan, 2005; 本間, 1992; Lundholm and Ruggieri, 1976; 元好, 1990; Yates and Anderson, 1958; 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会, 2002; Zielinski, 2001c, 2005; 図司, 1990, 1993)。しかしながら、研究課題 1-1：実験 1 および本研究結果より、上向き水平姿勢、バレーレグ姿勢、バレーレグダブル姿勢のフラットスカルは、内側の尖ったしずく型または外側のサークルがかなり大きい横 8 の字型を描くことが明らかになった。理論上、効率良く揚力を発揮するには横 8 の字を描くようにスカーリング動作することがよいと言われているが、実際には左右の円のバランスが均等である横 8 の字を描いている選手はいなかった。この理由として、揚力だけで姿勢を支えるには不十分であるためスカーリングの外側で抗力を生み出すように下方へ水を押しているのではないかと、重心の真下でスカーリングを行っていないために身体の安定を保つよう両腕のスカーリングの推進力の発揮方向をわずかに外側上方に向けて力が拮抗しないようにしているのではないかと、などが考えられる。このことを解明するには、スカーリングの推進力発生メカニズムを流体力学的に分析する必要がある。

バレレッグ姿勢では、肘の曲げ伸ばしが小さく、特に内側へのかき戻しが小さいことが特徴的であった。バレレッグ姿勢では上向き水平姿勢よりも大転子の位置が下がることから、内側へのかき戻しを大きくすると脚や腰に手がぶつかり、安定性を欠くため、内側へのかき戻しが少なくなるのではないかと考えられる。

Zielinski (2001c) は、片脚を挙上しバレレッグ姿勢になると、スカルレンジは小さくなり、スカルテンポが速まるとしている。Muir (1981a) は、バレレッグ姿勢では上向き水平姿勢よりもスカルテンポと押す力を増し、腰のそばで支持するためにスカルレンジを小さくする、およびバレレッグダブル姿勢では肘を外に張り手を腰に近づけ、スカルテンポと押す力を増し、スカルレンジを小さくし、バレレッグ姿勢よりテンポを速めてスカーリングする、と述べている。負荷が増えると推進力を大きくしなければならないため、スカルテンポが速まることは理論的にもっとものものであり、本研究結果において改めて実証された。その一方で、バレレッグ姿勢とバレレッグダブル姿勢の両方においてスカルレンジを小さくするという Muir (1981a) に対して、本研究でのバレレッグダブル姿勢は大きなスカルを速いテンポで動かし、推進力を増そうとしていた。バレレッグ姿勢よりも荷重負荷の大きいバレレッグダブル姿勢を保持するには、さらに大きな推進力を発揮しなければならないためスカーリング面積を大きくし、さらに速度を増さざるを得ないからだと思われる。

4.3 フラットスカルの動作特性と指導観点【研究課題1のまとめ】

研究課題1-1〔実験1〕では、シンクロナイズドスイミングオリンピック銀メダリスト4名と、日本代表Bチームおよび日本代表ジュニアチームに属する選手6名の、フラットスカル動作を3次元画像分析し、オリンピックメダリストと、日本代表Bチームおよび日本代表ジュニアチーム選手との比較、および負荷なしと1.5 kg 負荷試技との比較から、動作特性と技術的な指導観点を導き出した。

研究課題1-2〔実験2〕では、11名のシンクロナイズドスイミング日本代表選手を対象に、3次元画像分析を用いて、3種類の水平系基本姿勢におけるフラットスカル動作を比較、分析した。

研究課題1-1 および1-2の結果から、フラットスカルの動作特性と指導観点はつぎのようにまとめることができる。

フラットスカルは肘を支点にした前腕の回転運動であること、スキルの高い選手ほど上腕が固定されていること、肘を外に張り高く保ってスカルしていることが動作特性として示された。肘を張ることで広い支持ベースを作り安定性を増すことができ、肘を高く保つことで前腕を水平に動かすことが容易になるため、肘を支点にしたレバー動作によって効率的に揚力を発揮できる動きにつながっていると考えられた。さらに、スカーリングの手の軌跡は指導書でいわれている横8の字型ではなく、外側の円が大きい横8の字または内側が尖ったしずく型を描くこと、および、スカルパターンと迎え角の変化から、ストローク局面では揚力成分の大きい推進力を発揮し、外側の移行局面において下方に抗力成分の大きい推進力を発生させるような動きをしていることが示された。

3種類の水平系基本姿勢におけるフラットスカル動作を比較した結果、上向き水平姿勢では手首の掌・背屈、橈・尺屈の動きを伴い、手だけで推進力を得るように外側移行局面で手先を小指側から水底方向に大きく回してゆっくりとスカーリングしていた。バレーレッグ姿勢とバレーレッグダブル姿勢では、インスカルとアウトスカルの手のひらの角度を均等にし、前腕と手を一体にして縦幅の小さい水平のスカルパターンを描き、速いテンポでスカーリングをしていた。

上向き水平姿勢でのフラットスカルの指導観点は、1) 上腕と肘を固定すること、2) 肘を

曲げて外に張り高く保つこと、3) インスカルで手首を肩の線上までかき戻すこと、4) 手のひらの向きをスムーズに変化させること、および5) インスカルとアウトスカルを同じテンポでスカルすること、であった。そして、脚を挙上した姿勢では、内と外に均等に手のひらを返し、前腕と手を一体にして水平方向に速くスカルをするよう指導することが重要である。

先行文献では、肘が外を向くのは間違ったポジションで肘は下方（プールの底）を向くのが正しいポジションであること、上腕と肘をできるだけ固定すること、手先のスカルパターンは横8の字を描くこと、アウトスカル時には手のひらを小指側に45°上げインスカル時には親指側に45°上げてスカルすること、が指導観点として挙げられていた。上腕と肘をできるだけ固定することは本研究結果で実証されたが、それ以外の指導観点については先行文献と異なる結果を得た。

第5章 サポートスカルの動作特性と指導観点

5.1 一流シンクロナイズドスイミング選手のサポートスカル動作

【研究課題 2-1：実験 3】

5.1.1 目的

本研究は、シンクロナイズドスイミングのサポートスカルの動作特性を明らかにすること、および上位選手の特長から技術的な指導観点を導き出すことを目的とした。

5.1.2 方法

試技および分析項目以外の研究方法は、研究課題 1-1：実験 1 と同じで、オリンピック群（Excellent Group）4 名，B 代表群（Good Group）6 名であった。

（1）試技

試技は静止した垂直姿勢でのサポートスカルを 2 種類の条件下：負荷なしの状態（以下負荷なしという，Figure 33）および 1.5 kg のおもりを腰につけた状態（以下 1.5 kg 負荷という）で、各 10 秒間行わせた。両条件下ともに、垂直姿勢で身体を安定させるようにスカルするよう指示した。

（2）分析項目

実験構成図を Figure 34 に示した。スカーリング動作は反復動作であるため、安定した試技中の 1 サイクルのみを分析対象とした。本研究では、右腕のサポートスカルの 1 サイクルの外側を開始点として分析した。

分析項目は Figure 35 および以下に示したとおりであった。

- | | |
|---------|------------------------|
| 1) 上腕角度 | 上腕と体側（肩と大転子を結ぶ線分）のなす角。 |
| 2) 肘角度 | 前腕と上腕のなす角。 |



Figure 33 Vertical position with support scull.

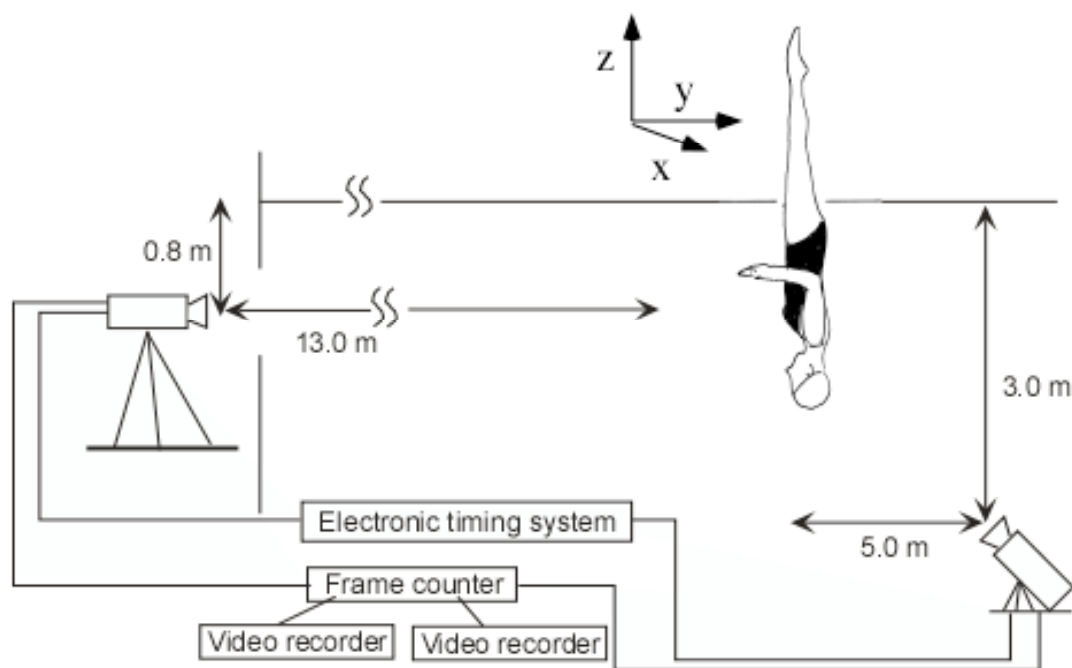


Figure 34 Schematic diagram of experimental set-up at present study.

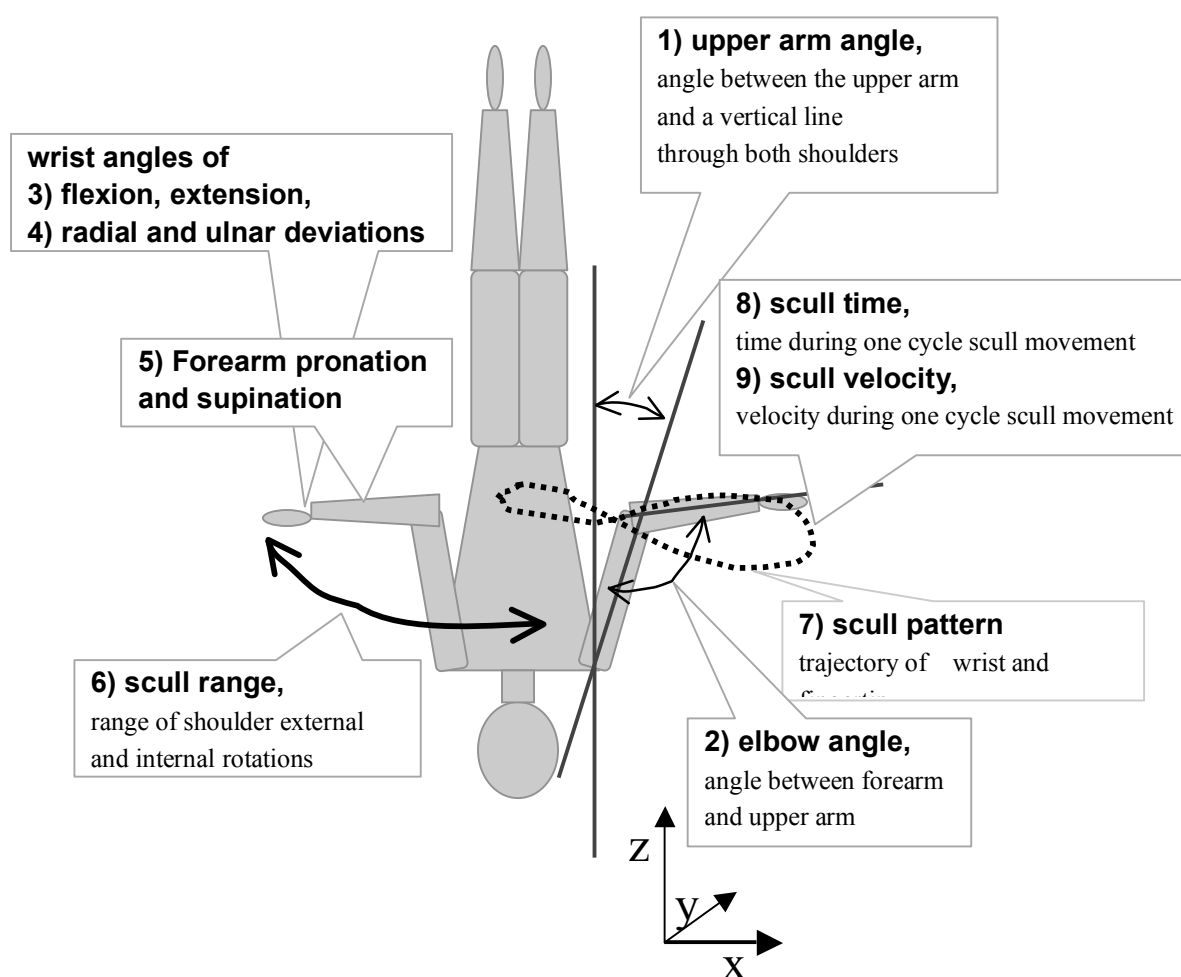


Figure 35 Definition of analyzing items.

- | | |
|---------------|---|
| 3) 手首掌屈・背屈角度 | 手関節の掌屈 (+)・背屈 (-) 角度. |
| 4) 手首橈屈・尺屈角度 | 手関節の橈屈 (+)・尺屈 (-) 角度. |
| 5) 前腕の回内・回外角度 | 前腕の回内・回外角. |
| 6) スカルレンジ | 1 サイクルで手が動いた角度範囲. 肩の外旋角と内旋角の範囲で, 前腕の動いた範囲を示す. 肩を通る矢状面ライン (肩の真横) を 0°とし, 肩の正面まで手が動くと 90°になる. |
| 7) スカルパターン | 1 サイクル中の手先の軌跡と手首の軌跡. 身体の正面からみた (x-z 平面上に投影した) スカルパターンを分析した. |
| 8) スカルタイム | 1 サイクルにかかった時間. |
| 9) スカル速度 | 手先と手首の 3 次元速度. |

(3) 統計処理

本研究は右腕のみを分析し, データは平均値±標準偏差で示した. 最大値と最小値との差を動作範囲とした. それぞれの分析項目において, オリンピック選手群 (Excellent Group) と日本代表 B・ジュニア選手群 (Good Group) 間には母分散が等しくない t 検定, 負荷なしと 1.5 kg 負荷試技間には対応のあるスチューデントの t 検定により, 平均値の差の検定を行った. 有意水準は 5%に設定した.

5.1.3 結果

Table 12 に, オリンピック群 (n = 4), B 代表群 (n = 6) および全選手 (n = 10) の右腕の上腕角度, 肘角度およびスカルレンジの最大値, 最小値, 動作範囲を示した.

(1) 上腕角度

Figure 36 にオリンピック群と B 代表群の上腕角度の最大値, 最小値および動作範囲を示した. Figure 37 にオリンピック群 SE 選手の負荷なしおよび 1.5 kg 試技の 1 サイクル中の上腕角度の変化を示した.

オリンピック群と B 代表群の上腕角度を比較すると (Figure 36), 負荷なし試技において, B 代表群の最大値 ($53 \pm 5^\circ$) がオリンピック群 ($48 \pm 3^\circ$) のそれよりも大きく ($p = 0.078$),

Table 12 Right upper arm angle, elbow angle and sculling range depend on no load and 1.5 kg load conditions for Excellent Group and Good Group

		<i>Excellent Group (n = 4)</i>				<i>Good Group (n = 6)</i>				<i>Total (n = 10)</i>			
		<i>no load</i>		<i>1.5 kg</i>		<i>no load</i>		<i>1.5 kg</i>		<i>no load</i>		<i>1.5 kg</i>	
		<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
Upper arm angle (°)	<i>max</i>	48	3	50	6	53	5	55	5	51	5	53	6
	<i>min</i>	20	2	17	1 †	19	3	16	2	19	3 ††	16	2
	<i>range</i>	27	4 *	33	5	35	4	39	4	32	5	37	5
Elbow angle (°)	<i>max</i>	141	6	144	9	147	12	146	8	145	11	145	9
	<i>min</i>	106	10	102	8	104	10	105	7	105	10	104	8
	<i>range</i>	35	5	42	4	43	12	40	8	40	10	41	7
Scull range (°)	<i>max</i>	115	4	110	7	112	10	112	12	113	8	111	10
	<i>min</i>	11	7	3	10	6	11	0	12	8	10	1	12
	<i>range</i>	104	5	107	7	106	5	113	12	105	5	111	11

range: max – min, SD: standard deviations.

†: significant difference no load vs 1.5 kg load for Excellent Group, $p < 0.05$

*: significant difference Excellent Group vs Good Group with no load, $p < 0.05$

††: significant difference no load vs 1.5 kg load for Total swimmers, $p < 0.01$

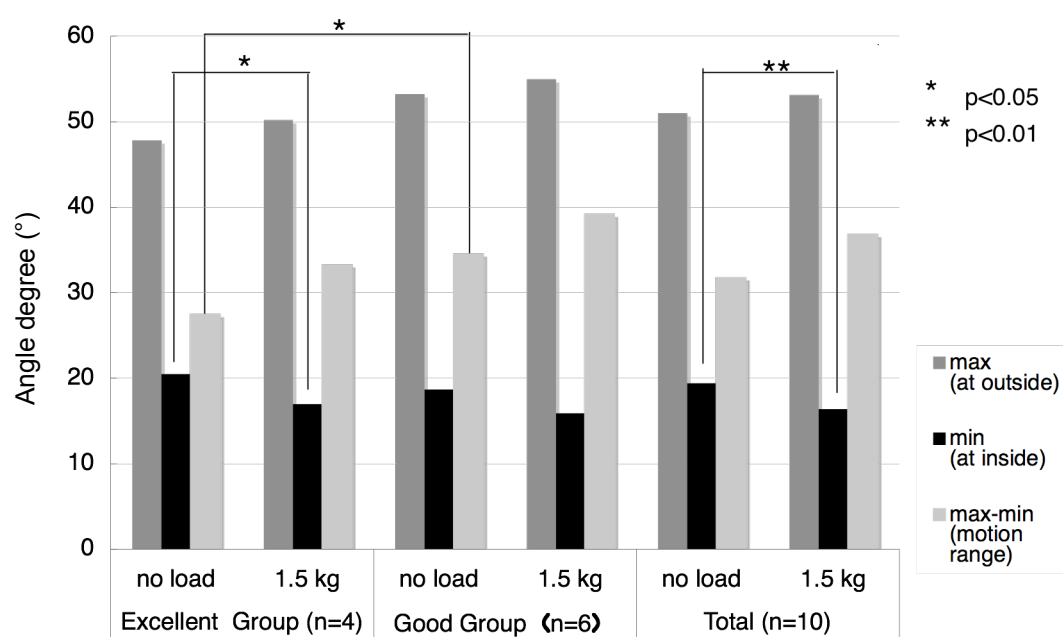


Figure 36 Maximum, minimum and motion range (max-min) of upper arm angles during one support skull for Excellent Group and Good Group under no load and 1.5 kg load conditions.

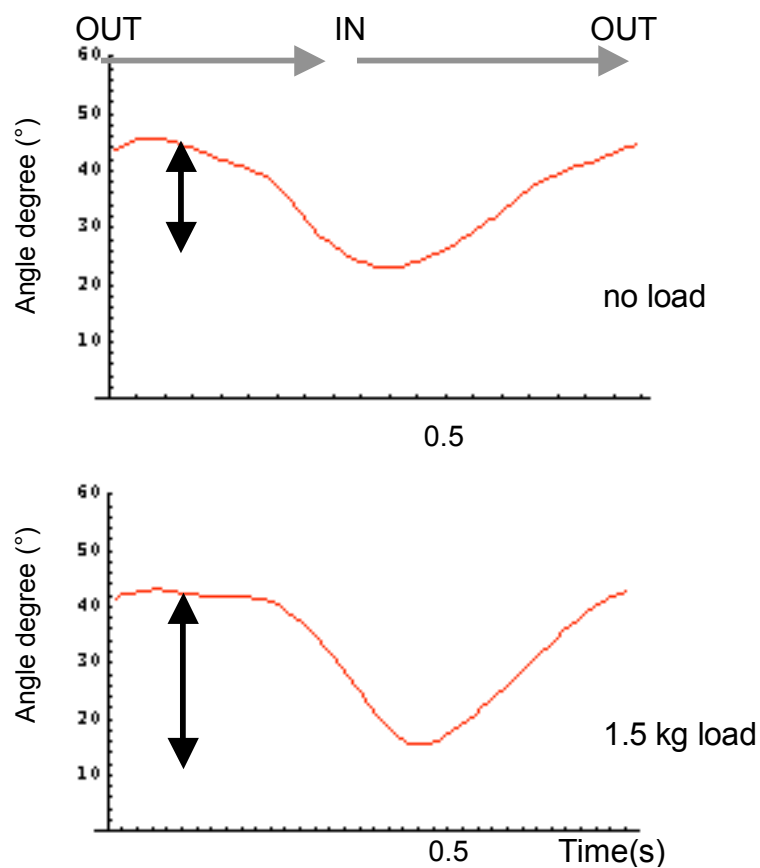


Figure 37 Changes in upper arm angle during sculling for swimmer SE, Excellent Group with no load and 1.5 kg load. Differences between min and max of upper arm angles under 1.5 kg load were much larger.

最小値も B 代表群 ($19 \pm 3^\circ$) がオリンピック群 ($20 \pm 2^\circ$) より小さく、その結果、B 代表群の動作範囲は有意に大きかった。1.5 kg 負荷において有意差はみられなかったが、B 代表群の方がオリンピック群より上腕角度が大きいという同様の結果がみられた。これより、オリンピック群の上腕は B 代表群に比べて固定されていることが示された。

Figure 37 をみるとわかるように、オリンピック群 SE 選手は外側の移行局面時に約 $45\text{--}50^\circ$ の最大値を示し、内側の移行局面時に約 20° の最小値を示した。また B 代表群の 4 名において、外側からインスカルに戻るとき、上腕角度が大きくなり、肘が外へ動くのが特徴的であった。

10 名平均の負荷なしと 1.5 kg 負荷試技を比較すると、1.5 kg 負荷の最小角度 ($16 \pm 2^\circ$) は負荷なしの最小角度 ($19 \pm 3^\circ$) よりも有意に小さかった。また、動作範囲も 1.5 kg 負荷時が負荷なしより大きかった (1.5 kg 負荷 $37 \pm 5^\circ$ 、負荷なし $32 \pm 5^\circ$, $p = 0.053$)。これより、負荷が増えると肩の外転内転運動が大きくなり、上腕が動きやすくなることがわかった。

(2) 肘角度

Table 12 に示したように、負荷なしにおける 10 名平均の右肘の屈曲角度は、最大値 $145 \pm 11^\circ$ 、最小値 $105 \pm 10^\circ$ 、動作範囲 $40 \pm 10^\circ$ であった。1.5kg 試技においても負荷なし試技とほぼ同様の数値が得られた。肘は、おおむね $100\text{--}145^\circ$ の範囲で屈曲しており、肘角度の動作範囲は約 $30\text{--}40^\circ$ であった。オリンピック群と B 代表群間、および負荷なしと 1.5 kg 負荷の間に、それぞれ有意な差はみられなかった。

Figure 38 にオリンピック群 KN 選手の負荷なし時とオリンピック群 HS 選手の 1.5 kg 負荷時のスカーリング中の肘角度の変化を示した。アウトからインへのインスカル局面で肘角度が小さくなり、インからアウトへのアウトスカル局面時に肘角度が増えていた。肘角度の屈曲と伸展の度合いはインスカルとアウトスカル時に均等に変化せず、アウトからインへのインスカル局面で急激に肘が狭くなり（屈曲し）、インからアウトへのアウトスカル局面で肘はなだらかに広くなった（伸展した）。

10 名の肘角度の時系列変化をみると、Figure 38 下図の HS 選手のように、10 名のうち 3 名が外側移行局面の直前で肘が最大に伸展し外側に達しながら肘が屈曲していた。さらにその 3 名のうち 2 名は、外側に達しながら肘が屈曲する動きが、負荷なし試技のときより 1.5 kg 負荷試技でより顕著になった。また別の B 代表群 2 名は、この動きが負荷なし試技ではみられなかったが、1.5 kg 負荷試技でわずかにみられた。これより、外側移行局面で、水面に対して垂直方向、つまり水底に向かって垂直に水を押している局面があることが観察された。

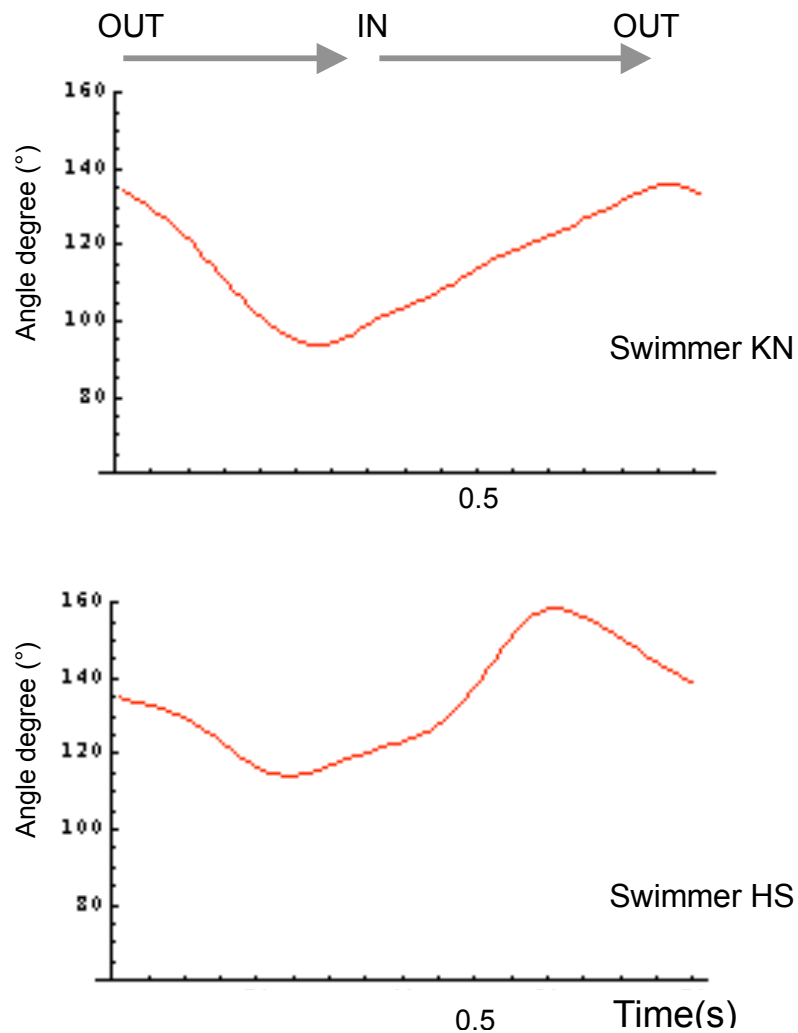


Figure 38 Changes in elbow angle during sculling for swimmer KN, Excellent Group under no load and swimmer HS, Excellent Group under 1.5 kg load. With a 1.5 kg load, the elbow angle of swimmer HS was decreased at the outside transition phase.

(3) スカルレンジ

Figure 39 に 1.5 kg 負荷試技におけるオリンピック群 SE 選手の 1 サイクル中のスカルレンジ変化を示した。Table 12 および Figure 39 に示したように、負荷なし試技における 10 名平均のスカルレンジは、最大値が $113 \pm 8^\circ$ 、最小値が $8 \pm 10^\circ$ 、動作範囲（最大値と最小値の差）は $105 \pm 5^\circ$ であった。オリンピック群と B 代表群、および負荷なしと 1.5 kg 負荷試技の間に有意差はみられなかった。

個々の値をみると、負荷なし試技において、スカルがもっとも外側のときに 2 名がマイナス値を示し、手先を肩の延長線（前額面）より後ろまでスカルしていた。また、別の 2 名は外側のときに $23\text{--}25^\circ$ を示し、肩のラインよりかなり手前でインスカルに切り替わっていた。しかし、多くの選手は外側のとき 10° 未満であったことから、ほぼ身体の真横（前額面）まで手をスカルしていることがわかった（Figure 40）。内側のスカルは全員 90° 以上を示したことから、肩の前よりも内側までかき戻していることがわかった。

1.5 kg 負荷試技における 10 名平均の最大値は $111 \pm 10^\circ$ 、最小値 $1 \pm 12^\circ$ 、範囲は $111 \pm 11^\circ$ であった。個々の値をみると、もっとも外側のスカルとき 3 名がマイナス値を示し身体の真横（前額面）より後ろまでスカルしていた。7 名の選手が負荷なし試技よりも 1.5 kg 負荷時に外側での最小値が小さくなりスカルレンジが大きくなったことから、手の位置を後方までかいていたことがわかった。スカルの内側では全員 90° 以上を示したことから、負荷なし試技同様に肩の前よりも内側までかき戻していることがわかった。また別の 7 名が内側のときの最大値がすこし小さくなったことから、かき戻しが少なくなっていることがわかった。つまり、1.5 kg 負荷試技では、スカルの位置がわずかではあるが全体に外後方にシフトしていた。

(4) 手首の掌屈・背屈角度

Table 13 にオリンピック群（ $n=4$ ）、B 代表群（ $n=6$ ）、全選手（ $n=10$ ）の右腕の手首の掌屈・背屈角度、橈屈・尺屈角度、前腕の回内・回外角度の、最大値、最小値、動作範囲（最大値と最小値の差）の平均値を示した。

負荷なし試技における 10 名平均の手首の掌屈・背屈角度の最大値（掌屈ピーク値）は $26 \pm 7^\circ$ 、最小値（背屈ピーク値）は $-9 \pm 10^\circ$ 、動作範囲は $35 \pm 15^\circ$ であった。1.5 kg 負荷試技における 10 名平均の掌屈ピーク値は $28 \pm 5^\circ$ 、背屈ピーク値は $-2 \pm 8^\circ$ 、動作範囲は $30 \pm 8^\circ$ であった。オリンピック群と B 代表群、および負荷なしと 1.5 kg 負荷試技の間に有意差はみられなかった。

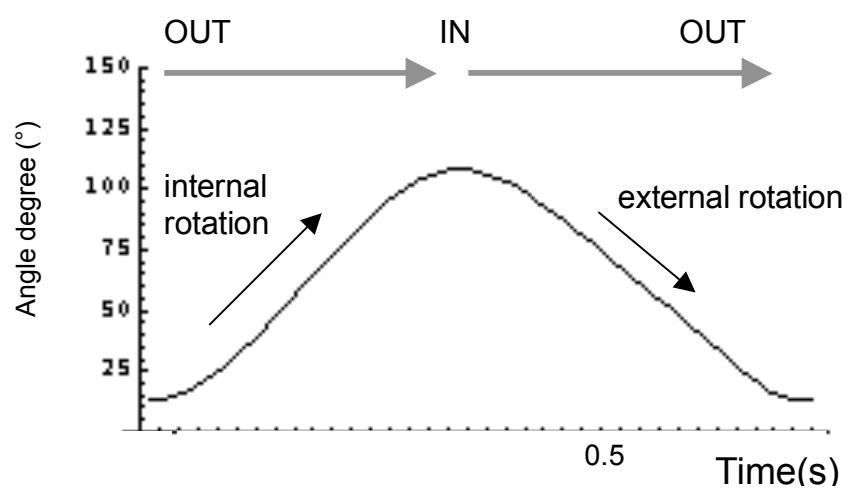
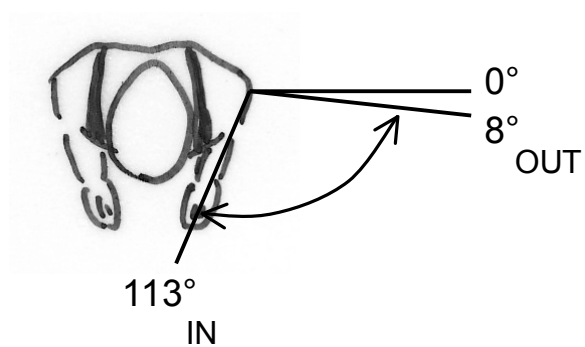


Figure 39 Changes in sculling range during sculling for swimmer SE, Excellent Group with 1.5 kg load. Range of shoulder external and internal rotations indicate the sculling range.



Bottom View

Figure 40 Skull range during support scull.
The mean range for 10 swimmers with no load was
approximately 105°, from 8° outside to 113° inside.

Table 13 Wrist angles of flexion (+), extension (-), radial (+) and ulnar (-) deviations, and forearm angles of pronation (-) and supination (+) depend on no load and 1.5 kg load conditions for Excellent Group and Good Group

		<i>Wrist flexion(+) & extension(-) (°)</i>			<i>Wrist radial(+) & ulnar(-) deviation (°)</i>			<i>Forearm pronation(-) & supination(+) (°)</i>		
		<i>Right</i>			<i>Right</i>			<i>Right</i>		
		<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max-min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max-min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max-min</i>
Excellent Group (n = 4)	no load	22 ± 8	-4 ± 2	26 ± 7	7 ± 5	-33 ± 11	40 ± 15	125 ± 6	2 ± 15	33 ± 20
	1.5 kg	30 ± 6	0 ± 1	30 ± 6	9 ± 7	-35 ± 6	44 ± 12	126 ± 11	5 ± 10	31 ± 19
Good Group (n = 6)	no load	28 ± 5	-12 ± 12	40 ± 15	14 ± 4	-36 ± 15	50 ± 16	126 ± 5	4 ± 13	32 ± 16
	1.5 kg	26 ± 3	-4 ± 10	31 ± 9	12 ± 4	-31 ± 8	43 ± 6	125 ± 6	10 ± 19	25 ± 20
Total (n = 10)	no load	26 ± 7	-9 ± 10	35 ± 15	11 ± 5	-35 ± 14	46 ± 16	126 ± 6	3 ± 14	33 ± 18
	1.5 kg	28 ± 5	-2 ± 8	30 ± 8	11 ± 6	-33 ± 8	44 ± 9	125 ± 8	8 ± 16	27 ± 20

The values are indicated as mean±standard deviations.

(5) 手首の橈屈・尺屈角度

Table 13 に示したように、負荷なし試技における 10 名平均の手首の橈屈・尺屈角度の最大値（橈屈ピーク値）は $11 \pm 5^\circ$ 、最小値（尺屈ピーク値）は $-35 \pm 14^\circ$ 、動作範囲は $46 \pm 16^\circ$ であった。1.5 kg 負荷試技においては、橈屈ピーク値は $11 \pm 6^\circ$ 、尺屈ピーク値は $-33 \pm 8^\circ$ 、動作範囲は $44 \pm 9^\circ$ であった。オリンピック群と B 代表群、および負荷なしと 1.5 kg 負荷試技の間に有意差はみられなかった。

オリンピック群 SE 選手はインスカルのストローク局面でわずかに尺屈がみられたが、全体には橈屈、尺屈の動きがほとんどみられず手関節が固定されていた。この傾向は 1.5 kg 負荷試技においても同様の結果であった。他方、オリンピック群 HS 選手と B 代表群 KC 選手の 2 名はインスカルで尺屈の動きが際立って大きかった。他の選手の波形をみても、負荷なしおよび 1.5 kg 負荷時の両方で手首の橈屈・尺屈の程度は個人によってかなり異なっていた。

(6) 前腕の回内・回外角度

Table 13 に示したように、前腕は終始、回外状態にあった。負荷なし試技における 10 名平均の前腕回外の最大値は $126 \pm 6^\circ$ 、最小値は $3 \pm 14^\circ$ 、動作範囲は $33 \pm 18^\circ$ であった。1.5 kg 負荷試技においては 10 名平均最大値 $125 \pm 8^\circ$ 、最小値 $8 \pm 16^\circ$ 、動作範囲 $27 \pm 20^\circ$ であった。オリンピック群と B 代表群、および負荷なしと 1.5 kg 負荷試技の間に有意差はみられなかった。

1 サイクル中の変化をみると、前腕は終始、回外状態にあった。負荷なし試技では外側移行局面に入るときに回外が最大に達し、内側の移行局面に入る直前で回外が最小になった。

1.5 kg 負荷試技では、負荷なし試技に比べて、インスカルのストローク局面のときの回外から回内へ戻る動きがわずかに少なかった。つまり、終始、回外状態が強く、常に小指側がひねられた状態でスカルしていた。内側移行局面に入るときに負荷なしではわずかに両手の手のひらが内側に向くが、1.5 kg 負荷試技のときには、内側移行局面のときも手のひらが内側を向かずプール底の方に向いていた。

(7) スカルパターン

Figure 41 にオリンピック群 SE 選手と FM 選手の負荷なしおよび 1.5 kg 負荷試技における手先と手首のスカルパターンを示した。負荷なし試技ではほとんどの選手が外側の円が大きい横 8 の字を描いた。1.5 kg 負荷試技におけるスカルパターンは外側の円がかなり大きい横 8 の字もしくは内側が尖った横向きのしずく型を描いた。

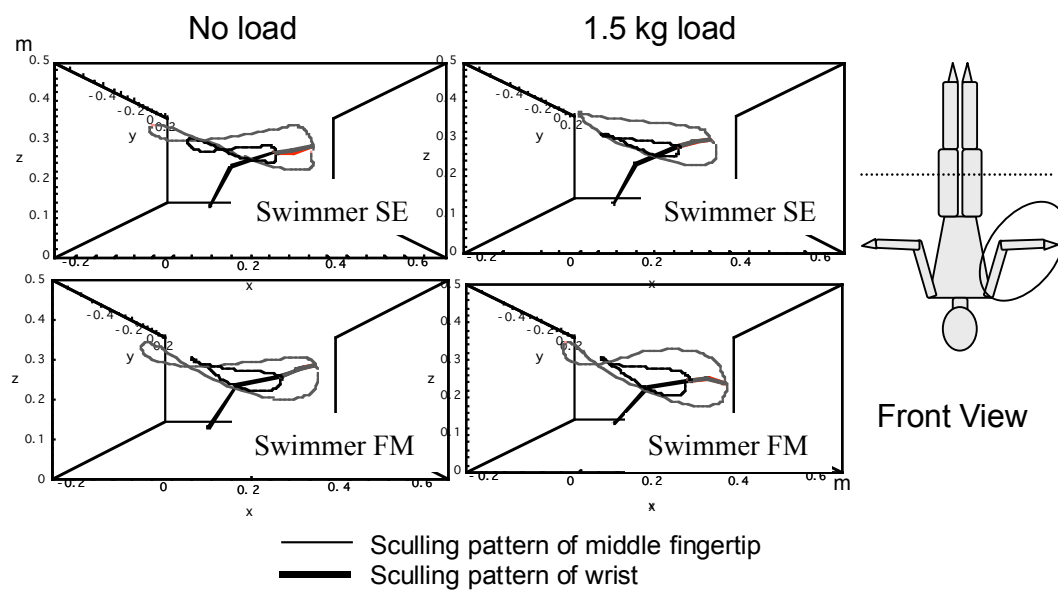


Figure 41 Front view sculling patterns of right middle fingertip and right wrist for Excellent Group swimmers under no load and 1.5 kg load conditions. Sculling pattern with no load is a slanting sideways figure of eight. Sculling pattern with a 1.5 kg weight is a slanting sharp-pointed figure like a drop shape for swimmer SE, and larger out circle for swimmer FM.

(8) スカルタイム，スカル速度

負荷なし試技でのスカーリング（右手）の10名平均の1サイクル時間は 0.69 ± 0.04 sであった．インスカル局面，アウトスカル局面に分けると，インスカル局面は 0.31 ± 0.02 s（1サイクルに占める割合 44.9%），アウトスカル局面 0.39 ± 0.03 s（56.5%）であった．

1.5 kg 負荷試技においては，平均1サイクル時間は 0.68 ± 0.06 s，インスカル局面，アウトスカル局面に分けて算出すると，インスカル局面 0.30 ± 0.03 s（1サイクルに占める割合 44.1%），アウトスカル局面 0.38 ± 0.05 s（55.9%）であった．インスカル局面とアウトスカル局面は2等分ではなく，インスカル局面にかかる時間よりもアウトスカル局面にかかる時間の方が長かった．負荷なし試技と1.5 kg 負荷試技の間に，オリンピック群とB代表群の間に有意な差はみられなかった．

負荷なし試技におけるオリンピック群 SE 選手の手先と手首の3次元速度変化を Figure 42 に示した．負荷なし試技と1.5 kg 負荷試技において手先と手首の速度変化は，どちらも類似した速度変化パターンを示した．外側移行局面および内側移行局面の手の向きの切り替えのとき，速度が弱まり，ストローク局面の途中で加速していた．インスカルとアウトスカルで異なったのは，y 軸方向の速度変化が，インスカルよりアウトスカル時に顕著に大きかったことである．

5.1.4 考察

オリンピック群の上腕がB代表群に比べて固定されていたことより，スカル中は肘を固定してスカルするのが望ましいと考えられた．肘を固定することで，支点を動かさないでレバー動作が行えるので，より大きな力を効率的に発揮することができる．同時に上腕を動かさないで肩甲骨の動きを最小限に抑えられ，姿勢の安定性が増すことにつながる．フラットスカルにおいても同様の結果が示されたことから，上腕と肘を動かさないでスカルすることはスカーリングの共通の技術指導観点といえる．多くの指導書（DeNegri and McGowan, 2005; 本間, 1992; 金子ほか, 1979; 元好, 1986; Synchro Canada, 2002; 財団法人日本水泳連盟, 2005; 図司, 1993）に，上腕と肘を固定してスカルすることが述べられており，本研究ではそれを裏付ける結果を得た．本研究結果から，サポートスカルは，肘を支点とした前腕の回転動作であ

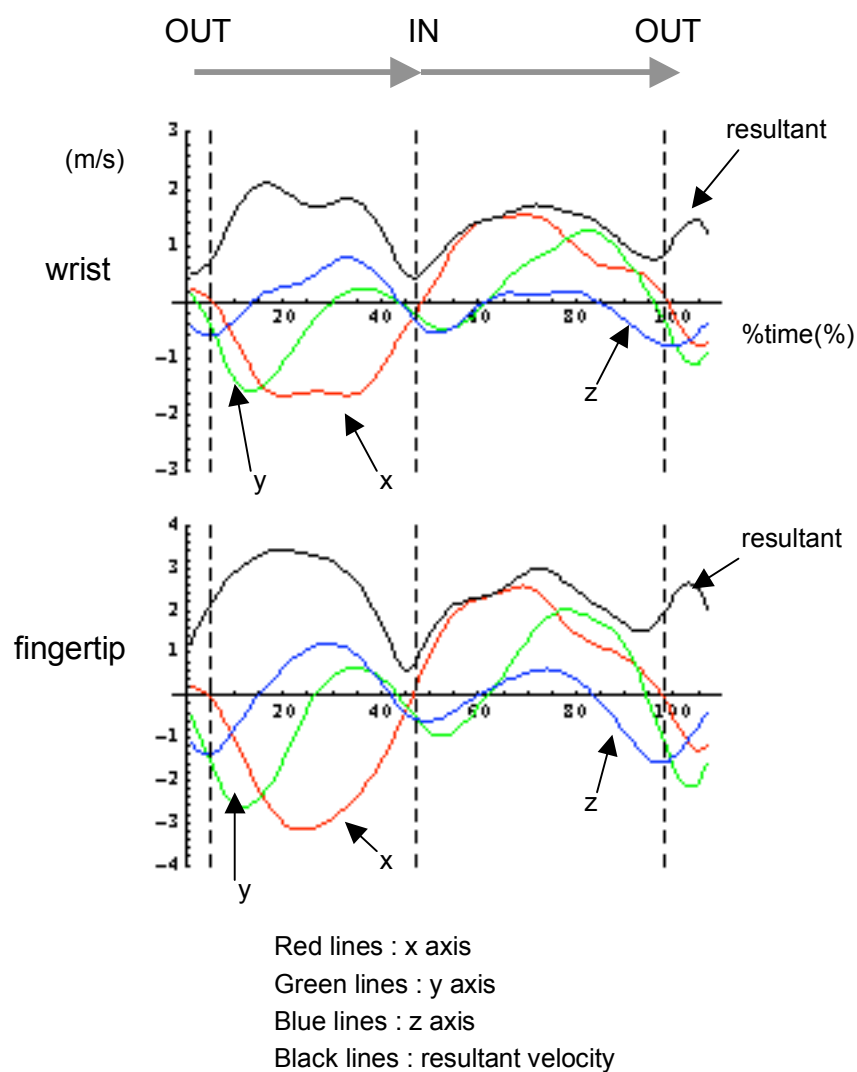


Figure 42 Changes in velocity of right wrist and fingertip during sculling for Excellent Group, swimmer SE with no load.

り、肩の外旋内旋運動によって前腕で水をスカルする技術であると説明できる。

肘の位置は Gray (1993) によると脇にグレープフルーツをはさむ感じとある。Zielinski (2001c) は、6-8 インチ身体から離れたところに肘をおくと述べている。本研究では身体からの肘の距離を測定していないため、数値を提示することはできないが、肩が最小 20°に外転していることから肘はわずかに身体から離れた位置で動かないようにすることが技術指導観点として示唆される。

肘は、サポートスカル中、100°（イン）から 145°（アウト）の範囲で屈曲していた。いくつかの指導書（Lundholm and Ruggieri, 1979；金子ほか, 1979；図司, 1984, 1990, 1993）には、サポートスカルの技術ポイントとして肘を 90°に曲げてスカーリングすることが述べられているが、本研究における肘の角度は 100°より大きく、最大で 145°にも達することが明らかとなった。Rybuyakova *et al.* (1991) はサポートスカルの 2 次元動作分析を行い、熟練者の肘の角度は 112-150°であったことを報告しており、本研究結果はそれと類似した値であった。

また、肘は、アウトからインへのインスカル局面で屈曲し、インからアウトへのアウトスカル局面で伸展していた。一方、上腕はインスカル局面時に身体に近づき、アウトスカル局面で肘が身体から遠ざかる方向にわずかに動いていた。肘角度の変化と上腕角度の変化が連動していることから、アウトスカル局面では、肩が外転するのに合わせて肘を伸展させ、前腕の水平を保っていることが推察される。

手首の掌屈、背屈の変化から、サポートスカル中は終始、手首が水平に保持されているのではなく、ほぼ水平角からわずかな掌屈を伴ってスカルしていることがわかった。手首の橈屈、尺屈については個人差が大きかった。数名がインスカルで尺屈（小指側）への動きが際立って大きかった。これらの選手は、インスカル局面時に手先からスカーリング動作をリードしていることが推察される。しかし多数の選手が手首の橈屈、尺屈が小さかったことから、インスカル時にやや手先からリードする感じで水をつかむが、手首を必要以上に左右に曲げすぎず、前腕と手をユニットにする感じでスカルすることが技術指導観点として挙げられる。

サポートスカル中は、終始、前腕の回外が強く、常に小指側を顔の方へひねり上げた状態でスカルしていた。とりわけ、アウトスカルのストローク局面で強い回外運動が入るのが特徴的であったが、これは、前腕および手のひらに、適度な迎え角を持たせてスカルしようとするための当然の動きといえる。

負荷なし試技における手先と手首のスカルパターンは、ほとんどの選手が横 8 の字を描いたが、8 の字の円は内側の円が小さく外側の円が大きかった。1.5 kg 負荷試技におけるスカル

パターンは外側の円がかなり大きい横 8 の字もしくは内側が尖った横向きのしづく型を描いた。このことから、外側移行局面では手の向きを変えながら水底方向に水を押す動きが入ることが観察され、水上の荷重負荷を保持するために抗力を利用していることが示唆された。揚力は運動の方向に対して垂直に発生するという理論から考えると、揚力を最も効率的に発生させるためには2つの円の大きさを等しくし、扁平の横 8 の字型を描くのが理想的である。おそらく肘を体側（肩を 90°外旋させ手のひらを底に向けるように前腕を 90°回外した位置）にセットし、その位置から前と後ろに均等にスカルすると重心をはさんでスカルできるのでバランスのとれた横 8 の字型を描くことが可能と推測される。しかし、肩を 90°外旋させ、その位置を基準に前後にスカルすることは、前方への動き（内旋）は可能であるが、後方への動きはさらなる肩の外旋と前腕の回外を伴わなければならないため、解剖学的に無理がある。さらに、体側のあたりで前後均等に小さくスカルするだけでは十分な上方への推進力を得ることができないため、実際には腕が動きやすい身体の横から前の範囲でスカルしているのだと考えられる。また、なぜ偏った大きさの円からなる横 8 の字または内側の尖ったしづく型を描くのかを考察すると、身体前方（イン）に腕をスカルしたときは、両手が前方に来るため身体姿勢の重心位置がわずかに前方にずれて姿勢のバランスがとりづらくなり、できるだけ素早く手のひらを切り返して横方向にスカルしようとするからではないかと考えられる。そして、アウトのときは腕が左右に開いて身体の実横に達するので姿勢が安定し、揚力だけでは足りない推進力を、安定したアウトのときに補おうとしているのではないかと推察できる。このことを明らかにするには、スカルのどの局面で推進力を最大に発揮しているのかをキネティクスの的に分析する必要がある。

Francis and Smith (1982) は、シンクロナイズドスイミング元世界チャンピオンのクレーン姿勢（片脚挙上）でのサポートスカル動作における人差し指の軌跡を 2 次元画像分析した。その結果、スカーリング中は絶え間なく流体力を生み続けていること、アウトスカルからインスカルに切り替わる外側移行局面は鉛直方向の動きのため抗力の貢献が大きい、ほぼ水平方向にスカルしているストローク局面は揚力の貢献の大きいことを示した。本研究はクレーン姿勢ではなく垂直姿勢（両脚挙上）で実験を行ったが、Francis and Smith (1982) の示唆する見解と一致した。さらに、Francis and Smith (1982) は同じ研究の中で、熟練者はサポートスカルの 1 周期の大部分において揚力を利用して身体を支持していると結論づけている。本研究では全選手がエリートレベルであり、同様のスカルパターンを示したことから、競技レベルによる推力発揮方法の違いは明らかではなかったが、縦方向のぶれを少なくし安定性

を増すためには揚力を効率よく利用し、一定の推進力を発揮し続けることが重要であるといえる。

スカルタイムの結果は、インスカル局面にかかる時間よりもアウトスカル局面にかかる時間の方が長く、両局面が均等ではなかった。手先と手首の速度変化は、移行局面での手の向きの切り替えのとき速度が弱まり、ストローク局面の途中で加速していた。そして、インスカルとアウトスカルを比較すると、アウトスカル時に y 軸正 (+) 方向の速度が顕著に大きかった。このことより、アウトスカル局面で手を身体の前方に押し出しながら強くスカルしていることが推察される。

Hall (1996) は、アメリカシクロナイズドスイミングナショナルチーム 3 名 (1996 アトランタオリンピック金メダリスト) のクレーン姿勢 (片脚挙上) と垂直姿勢 (両脚挙上) 時のサポートスカル動作を 3 次元 DLT 法にて分析し、すべての選手がクレーン姿勢よりも垂直姿勢時のストロークサイクルタイムが短かったことから、両脚挙上時にはストロークの速度を増加させることを報告している。本研究では、負荷なしの垂直姿勢でのスカルタイムは 0.68 s、1.5 kg 負荷時は 0.69 s であり、負荷の違いで有意な差はみられなかった。本間 (2000a) によると、クレーン姿勢 (片脚挙上) 最高位の水上海重負荷は 6.6 kgf、垂直姿勢 (両脚挙上) 最高位の水上海重負荷は 14.8 kgf で、両脚挙上時は片脚挙上時の 2.2 倍の荷重負荷を支持しなければならないことが報告されている。それゆえ、Hall (1996) の研究では片脚挙上と両脚挙上の荷重負荷の差が非常に大きいためスカルタイムに違いがみられたが、本研究では負荷の差が 1.5 kg と小さかったため違いがみられなかったものと考えられる。

スカルレンジは、身体の真横から身体の前の方の肩のラインより内側の約 110°までであった。Zielinski (2001b) は、スカルレンジは身体の前の方の肩のラインより内側の約 60°くらいまでであると述べているが、本研究結果はほぼその 2 倍のスカルレンジを示した。結果が異なった理由には、Zielinski が観察した選手はアメリカのトップランク選手であり、本研究の対象は日本選手であったため、民族の違いによる身体密度、それらに影響される荷重負荷の違いが考えられる。日本選手においては両脚をできるだけ高く水上に保持するために、広いスカルレンジで大きな推進力を発揮することが必要なのかもしれない。今後、さらに研究を重ね、もっとも推進力発揮効率のよいスカルレンジを見出す必要がある。

負荷が増えるにつれて、肩の外転・内転運動が大きくなり、負荷なしよりも上腕がぶれやすくなった。また、外側移行局面時に肘角度が小さくなり、水底方向に鉛直に水を押す動きが一部に観察された。さらに外側の移行局面で手関節を屈曲する動きが加わった。この外側

の移行局面での手首の最大屈曲は負荷なし試技では見られなかった。そして、負荷が増えると、外の円がかなり大きい横 8 の字または内側の尖った横向きのしずく型のスカルパターンを描き、抗力成分の大きい推進力を発揮するような動きが発生していた。これらのことは、1.5 kg というわずかな荷重負荷の増加であっても、外側移行局面でより大きな抗力を発揮するような動きを伴わなければ、その荷重負荷を保持できないことが推察される。水上に出る荷重負荷はスカーリング動作だけで発揮される推進力で保たれているが、わずかな負荷の増量であっても、上腕、肘、手首の動きを変化させるほど大きな影響があることがわかった。サポートスカルは第2章文献研究でも述べたように、1960年代にアメリカの選手が練習中に無意識に動かしていた腕の動きをコーチが発見し、定着させた動作であるといわれている。サポートスカルはシンクロナイズドスイミング以外の運動ではみられない動作であるため研究対象とされることが少ないが、今後、流体力学的に推進力を解明することで 現在のサポートスカル動作と異なる腕の位置でのスカル動作が新たに考案されるかもしれない。

5.2 垂直姿勢保持能力の高い選手のサポートスカル動作

【研究課題 2-2：実験 4】

5.2.1 目的

本研究は、一流シンクロナイズドスイミング選手を対象に、垂直姿勢保持能力の高い選手と低い選手のサポートスカル動作を比較し、サポートスカルスキルの高い選手の動作の特長から技術的な指導観点を明らかにすることを目的とした。

5.2.2 方法

(1) 被験者

研究課題 1-2：実験 2 と同じ被験者（シンクロナイズドスイミング日本代表選手 11 名，20.5 ± 2.0 歳）であった。被験者 11 名の身体特性は、身長 1.61 ± 0.05 m，体重 52.8 ± 3.9 kg，Bod Pod（Life Measurement, Inc. USA）を用いた空気置換法による体脂肪率は $23.3 \pm 2.5\%$ であった。

(2) 垂直姿勢保持能力の決定

本研究では 11 名を相対的な垂直姿勢保持能力によって能力別に分類した。分類は、国際大会派遣日本代表選手選考会で実施されたルーティンセットのうち、垂直姿勢保持テストの得点をもとに行った。選考会で実施されたルーティンセットはルーティン演技遂行に必要な推進技術やフィギュアの数課題から構成され、国際審判員によって採点された。ルーティンセットの課題のうちの 1 つは垂直姿勢をその場で 15 秒間保持し、その姿勢を保ったまま垂直沈み込みを行うというもので、サポートスカルスキルを反映するテストであった。この垂直姿勢保持テストの得点から、11 名の中で 1 位、2 位の被験者 A, B を上位群（Excellent Group），10 位、11 位の被験者 J, K を下位群（Good Group）として分類した（Table 14）。

(3) 試技

試技は静止した垂直姿勢でのサポートスカルの 10 秒間行わせた。できるだけ高い位置で身体を安定させるようにスカルするよう指示した。垂直姿勢は FINA シンクロナイズドスイミ

Table 14 Body composition and support scull skill levels of swimmers

		<i>All swimmers</i> (<i>n</i> = 11)	<i>Excellent Group</i>		<i>Good Group</i>	
			<i>A</i>	<i>B</i>	<i>J</i>	<i>K</i>
<i>Age</i>	(<i>yr.</i>)	20.6 ± 1.8	23	20	18	20
<i>Body Height</i>	(<i>m</i>)	1.61 ± 0.05	1.67	1.60	1.57	1.73
<i>Body Weight</i>	(<i>kg</i>)	52.8 ± 3.9	58.7	49.9	53.0	60.9
<i>% body fat</i>	(<i>%</i>)	23.3 ± 2.5	26.7	22.7	25.1	24.2
<i>LBM</i>	(<i>kg</i>)	40.4 ± 2.5	43.0	38.6	39.7	46.2
<i>Dominant hand</i>			right	right	right	right
<i>Results of National Team Selection</i>						
<i>Score of Vertical Position Test*</i>	(<i>points</i>)	20.072 ± 0.556	21.268	20.644	19.552	19.136
	(<i>Rank</i>)		1st	2nd	10th	11th

* Vertical position test in National Team selection reflected support scull skill.
The values of All swimmers are indicated as mean±standard deviations.

ングルール (FINA, 2005) で次のように規定されている。

垂直姿勢：

- ・身体は、頭を下にして両脚を揃え水面に垂直に伸ばす。
- ・頭（特に耳）、腰、足首は一直線上。

(4) 分析方法

Figure 43 に実験構成図を示した。撮影方法、分析方法は研究課題 1-2：実験 2 と同様であった。

(5) 分析項目

サポートスカル動作は反復運動であるため、安定した試技中の 1 サイクルのみを分析対象とした。サポートスカルの 1 サイクルの内側（両手が身体の前でもっとも近づくところ）を開始点として分析した。

分析項目は以下に示したとおりであった。 Figure 44 にスカル平面角度の定義を示した。

- | | |
|--------------|---|
| 1) 上腕角度 | 上腕と体側（肩と大転子を結ぶ線分）のなす角。 |
| 2) 肘角度 | 前腕と上腕のなす角。 |
| 3) 手首掌屈・背屈角度 | 手関節の掌屈（+）・背屈（-）角度。 |
| 4) 手首尺屈・橈屈角度 | 手関節の尺屈（+）・橈屈（-）角度。 |
| 5) 前腕回外角度 | 手部の長軸周りの角度。前腕の回外角。手のひらが内側を向いた状態が 0°、水底（顔の方）を向いたときが 90°。 |
| 6) 迎え角 | 運動方向に対する手のひらの角度。 |
| 7) スカルタイム | 1 サイクルにかかった時間。 |
| 8) スカルパターン | 1 サイクル中の手の軌跡。真下（頭の方）からみたスカルパターンと身体の正面からみたスカルパターンを分析した。 |
| 9) スカルレンジ | 1 サイクルで手が動いた角度範囲。肩の外旋角と内旋角の範囲で、前腕の動いた範囲を示す。肩を原点とした肘座標の x,y 値を用いて角度を算出。x-y 平面上（水面）に投影された肩-手先ベクトルが基準線となす角。身体の正面（肩の前）に手がある状態が 0°、+側が外旋、-側が内旋。+90°を超えると手が肩より後ろまでスカルしていることを示す。 |

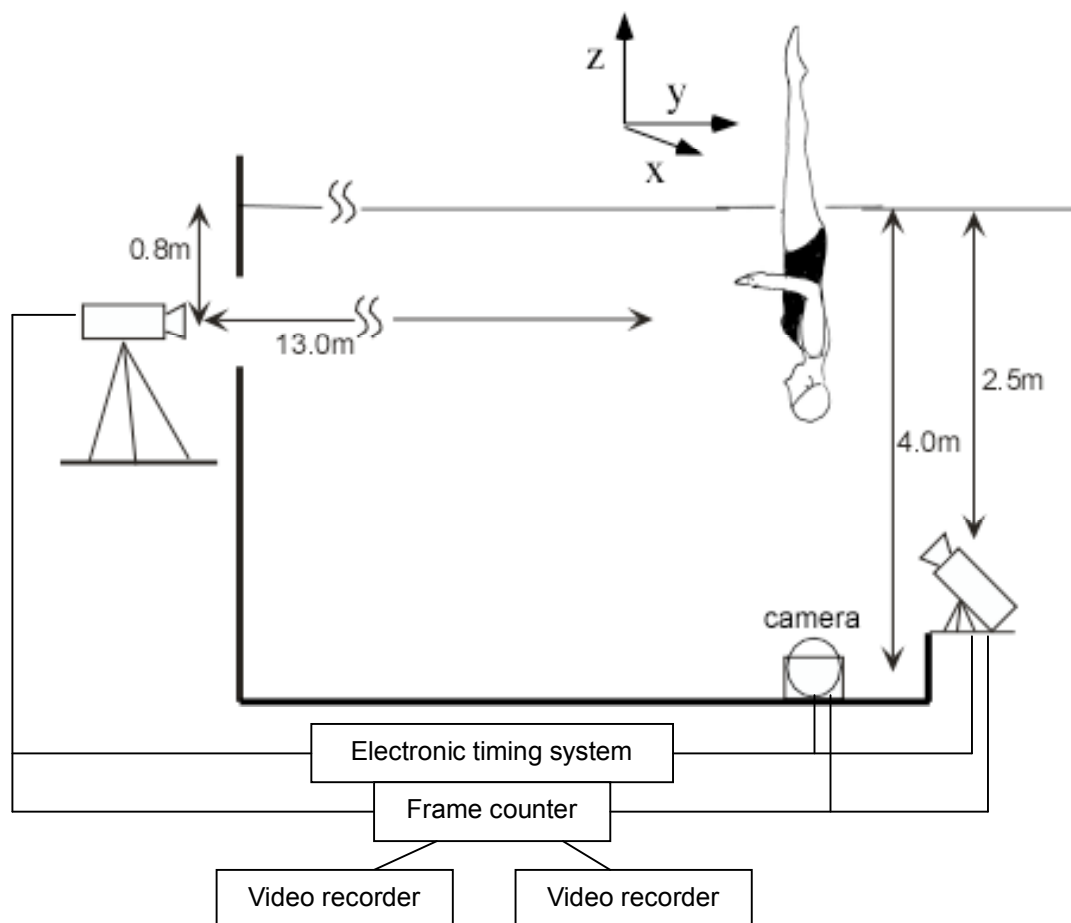


Figure 43 Schematic diagram of experimental set-up at present

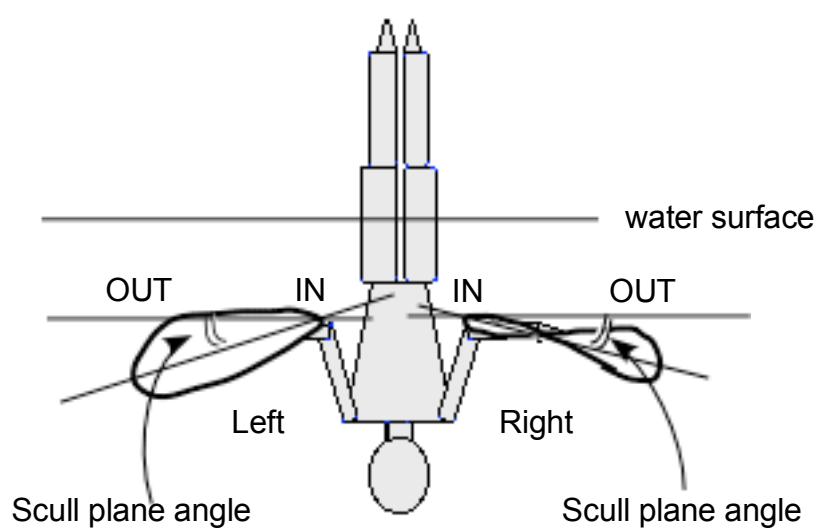


Figure 44 Definition of scull plane angles.
Scull plane angles mean the angles between the water surface and the planes drawn by the wrists from/to In to/from Out during one support scull cycle.

- 10) スカル平面角度 手首が描いた面と水面とのなす角。
 アウトスカルとインスカルで手首が描いた平面と、水面との
 なす角を分析した (Figure 44)。
- 11) 大転子高 水面と大転子 (左右) の距離。

(6) 統計処理

本研究のデータは、11名の平均値、もしくは上位群 (Excellent Group)、下位群 (Good Group) のそれぞれの平均値±標準偏差で示した。各角度の最大値と最小値の差を動作範囲とした。上肢に関する変数は左右の平均値を用いた。身体密度とサポートスカルスキルとの関連を検討するために、体脂肪率と垂直姿勢保持能力の相関係数を求めた。垂直姿勢の高さとサポートスカルスキルとの関連をみるために、垂直姿勢時の大転子高左右平均値と垂直姿勢保持能力との相関係数を求めた。有意水準は5%に設定した。

5.2.3 結果

(1) 身体密度とサポートスカルスキルとの関係

11名の体脂肪率と垂直姿勢保持能力の間に相関関係は認められなかった。

(2) 垂直姿勢の高さとサポートスカルスキルとの関係

11名の転子高 (左右平均値) は平均 0.24 ± 0.04 m であった。大転子高と垂直姿勢保持能力の間に相関関係は認められなかった。

(3) 上腕角度、肘角度、スカルレンジ

Table 15 に上位群 2 名と下位群 2 名、および全選手 11 名の上腕角度、肘角度、スカルレンジを示した。上腕角度の最大値、最小値および動作範囲は上位群が下位群より大きかった。

(4) 手首の掌屈・背屈、尺屈・橈屈、前腕の回外角度

Figure 45 に上位群の A 選手と下位群の K 選手の、サポートスカル 1 サイクル中の手首の掌屈・背屈および前腕の回外角度の変化を示した。

Table 15 Upper arm and elbow angles and scull range during one support scull cycle performed by swimmers with excellent and good sculling skills

			<i>Excellent Group</i> (<i>n</i> = 2)	<i>Good Group</i> (<i>n</i> = 2)	<i>All swimmers</i> (<i>n</i> = 11)
<i>Upper Arm Angles</i> (°)	<i>max</i>	<i>L</i>	43	33	40 ± 6
		<i>R</i>	41	37	41 ± 6
	<i>min</i>	<i>L</i>	16	10	11 ± 3
		<i>R</i>	10	10	10 ± 2
	<i>range</i>	<i>L</i>	28	23	29 ± 6
		<i>R</i>	31	27	31 ± 6
<i>Elbow Angles</i> (°)	<i>max</i>	<i>L</i>	152	145	148 ± 9
		<i>R</i>	147	139	147 ± 7
	<i>min</i>	<i>L</i>	118	119	116 ± 8
		<i>R</i>	119	118	115 ± 10
	<i>range</i>	<i>L</i>	33	26	33 ± 10
		<i>R</i>	28	21	32 ± 12
<i>Scull Range</i> (°)	<i>max</i>	<i>L</i>	81	65	78 ± 12
		<i>R</i>	87	58	80 ± 15
	<i>min</i>	<i>L</i>	-20	-16	-22 ± 8
		<i>R</i>	-19	-26	-20 ± 7
	<i>range</i>	<i>L</i>	100	81	99 ± 12
		<i>R</i>	106	84	99 ± 12

max: maximal angle, min: minimal angle
range: Difference between maximal angle and minimal angle, L: left, R: right
The values of all swimmers are mean±standard deviations.

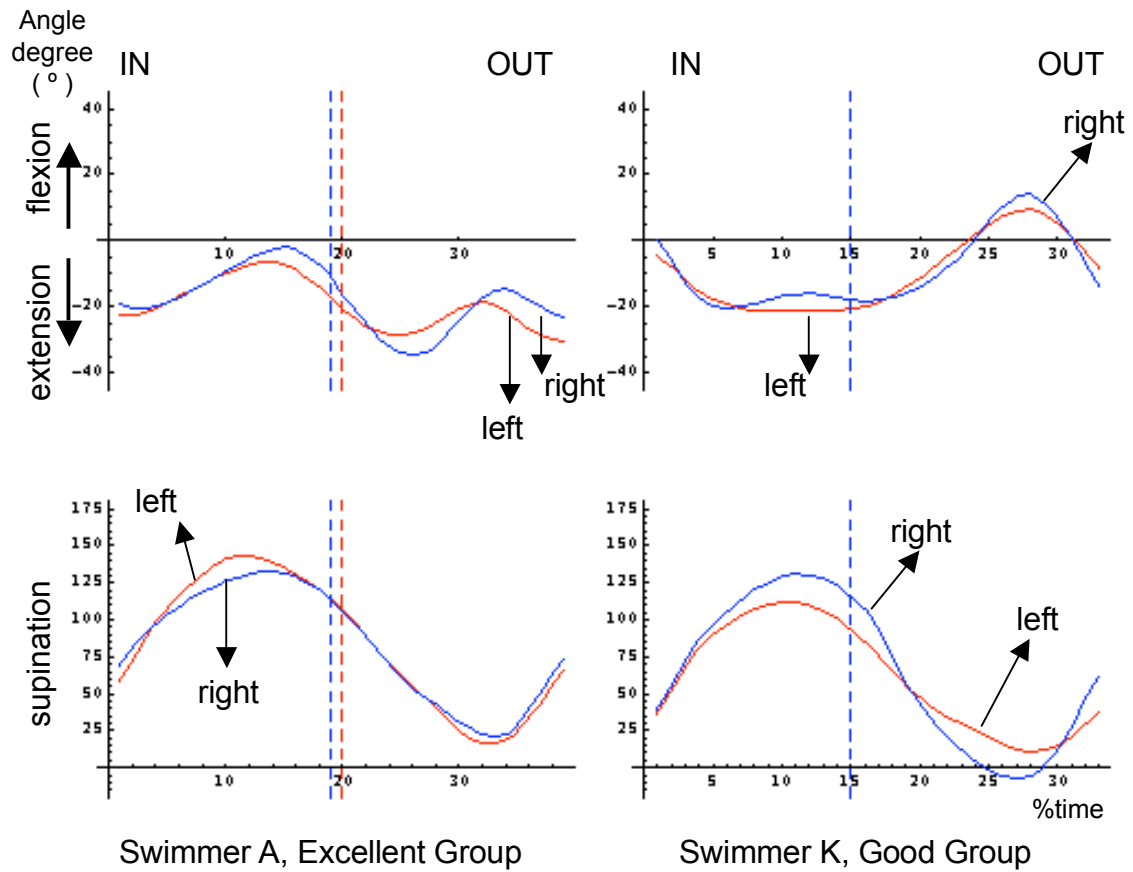


Figure 45 Changes in angles of wrist flexion and extension and of forearm supination during one support scull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and K with excellent and good skills, respectively. Horizontal axis indicates %time of one support scull cycle (100%).

上位群はスカーリングの間、終始わずかに手首を背屈した状態（約 -2° - -35° ）を保持しており、掌屈方向の動きはみられなかった。下位群の J 選手と K 選手は、内側移行局面でわずかな掌屈がみられ、約 14° の掌屈から -21° の背屈までの範囲で手首が動いていた。

Figure 45 に示すように、前腕の回外角度はアウトスカルで増加し、インスカルで減少した。上位群の A 選手の回外角度の最大値は左 143° 、右 133° 、最小値は左 16° 、右 21° であった。下位群の K 選手は、最大値左 112° 、右 131° 、最小値左 11° 、右 -8° であった。下位群の J 選手と K 選手は、インスカルのときに回外が減少し（回外の最小値が小さく）、回内方向への大きな動きがみられたことが特徴的であった。

手首の尺屈・橈屈角度は 11 選手間に顕著な差はみられなかった。平均尺屈角度は左 $25 \pm 8^{\circ}$ 、右 $32 \pm 9^{\circ}$ 、平均橈屈角度は左 $-15 \pm 5^{\circ}$ 、右 $-14 \pm 5^{\circ}$ であった。すべての選手において、アウトスカルのときにわずかに橈屈し、外側移行局面からインスカルのときに小指方向へ手首を尺屈する動きがみられた。

（5）迎え角

Figure 46 に上位群の A 選手と下位群の K 選手の、サポートスカル 1 サイクル中の迎え角の変化を示した。A 選手、B 選手、K 選手、J 選手の手迎え角は、外側移行局面でおおよそ 80° を示した。A 選手、J 選手、K 選手は、内側移行局面でほんのわずかな負の迎え角がみられた。ストローク局面中、A 選手の右手の迎え角は約 20° で一定に保たれ、スカーリング中の迎え角の変化がなめらかであった。B 選手の迎え角はアウトスカル時 $10-40^{\circ}$ 、インスカル時 $20-40^{\circ}$ 、J 選手はアウトとインの両方のスカル中、約 $20-30^{\circ}$ 、K 選手はアウトスカル時 $30-40^{\circ}$ 、インスカル時 $30-50^{\circ}$ を示した。

（6）スカルパターン

Figure 47 は 上位群の A 選手、B 選手と下位群の J 選手、K 選手の、1 サイクル中の正面からみたスカルパターンを示した。Figure 48 は真下からみたスカルパターンを示した。正面からみたスカルパターンは、A 選手と K 選手は内側の尖った楕円形を描き、B 選手と J 選手は外側の円が大きい横 8 の字型を描いた。A 選手と B 選手は身体の前で手の向きを変えた後のアウトスカルのかき出しが、ほぼ水平であった。一方、J 選手と K 選手は、アウトスカルのかき出しがやや鉛直に近い方向へスカルしていた。

Figure 48 に示すように、真下からみたスカルパターンは、4 名とも曲線的な横 8 の字を描

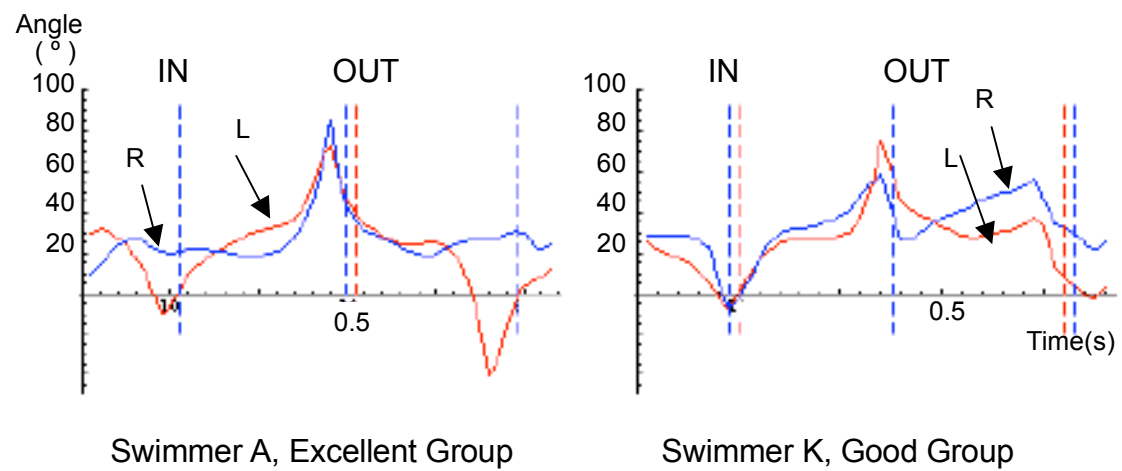


Figure 46 Changes in attack angles of hands during one support scull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and K with excellent and good skills, respectively.

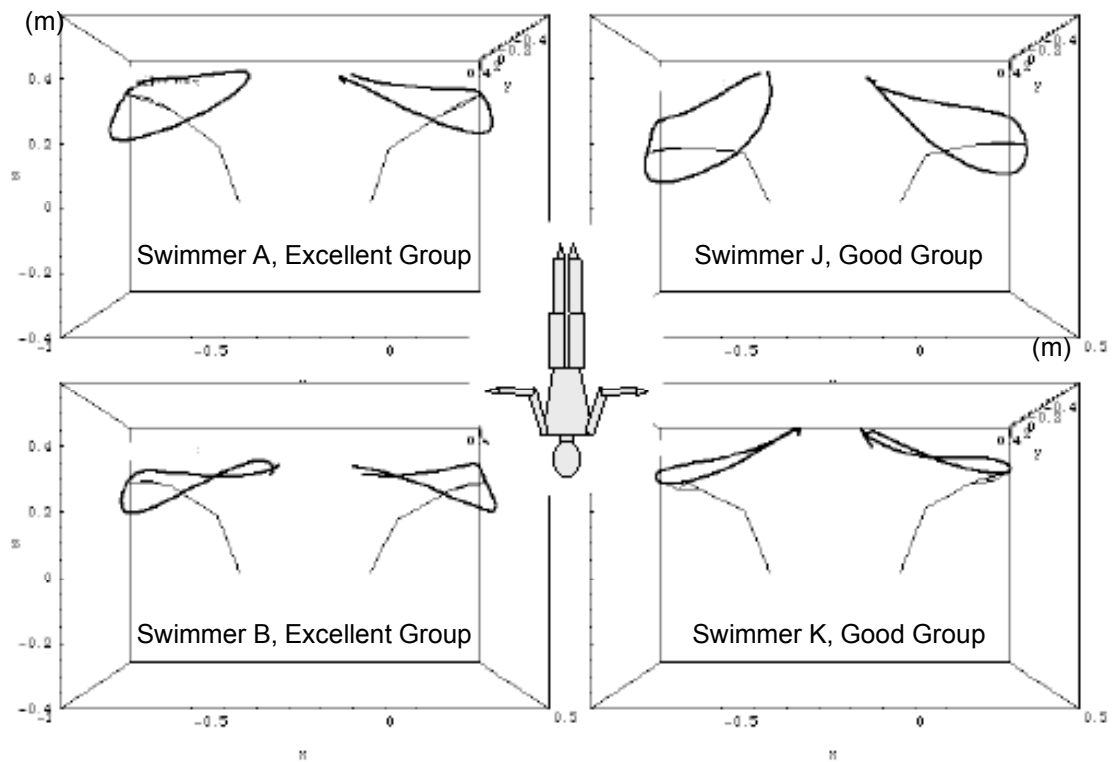


Figure 47 Front view of skull patterns of left and right hands during one support skull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and B (Excellent Group) and swimmers J and K (Good Group). Swimmers B and K drew a slanting sideways figures of eight and swimmers A and J drew inside sharply pointed figure like a drop shape.

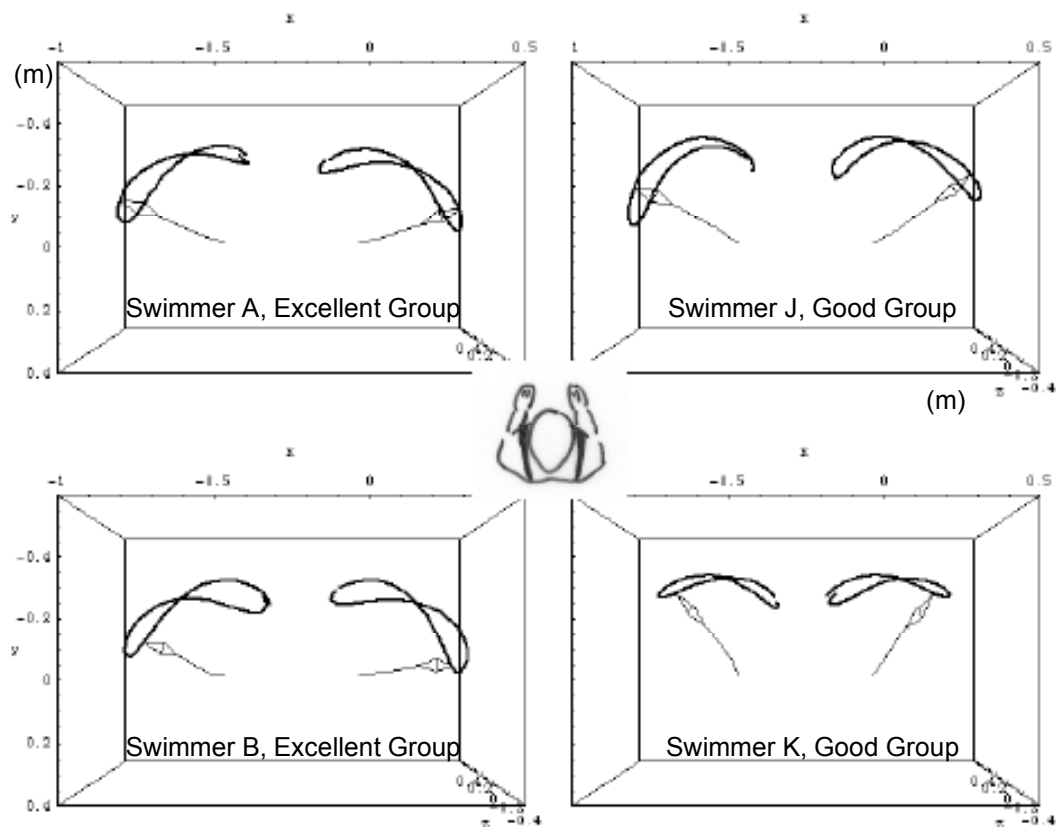


Figure 48 Bottom view of skull patterns of left and right hands during one support skull cycle performed by Japanese National Team swimmers A and B (Excellent Group) and swimmers J and K (Good Group). Average skull ranges were L 100°, R 106° for Excellent Group and L 81°, R 84° for Good Group. Excellent Group had 19–21% larger skull range than Good Group had.

いた。A 選手と B 選手は身体の前からほぼ真横までをスカルしており、1/4 円を描いているのが特徴であった。一方、J 選手と K 選手は真横までスカルせずに、身体の前から斜め外までの狭い幅を描いていた。

(7) スカルレンジ

Figure 48 からわかるように、上位群の平均スカルレンジは、左 100°、右 106°、下位群のそれは左 81°、右 84°で、上位群の方が 19-21%大きいスカルレンジを示した。上位群の最大肩外旋角度は左 81°、右 87°、最小肩内旋角度は左 -20°、右 -19°であった。下位群はそれぞれ、最大 左 65°、右 58°、最小左 -16°、右 -26°であった。上位群は下位群に比べると、肩の大きな外旋を伴い前腕を身体の真横まで動かしていた。

(8) スカル平面角度

全選手 11 名、上位群 2 名、および下位群 2 名の 1 サイクル中のスカル平面角度（手首が描いた面と水面とのなす角）を Table 16 に示した。上位群の右と左のスカル平面角度は下位群に比較して 28-39%小さかった。

(9) スカルタイム

Figure 49 に上位群と下位群の 1 サイクル中のスカルタイムを示した。上位群は右 0.63 s、左 0.64 s、下位群は右 0.62 s、左 0.58 s であった。上位群は下位群よりもスカルタイムが長かった。また、1 サイクルのアウトスカルとインスカルの割合をみると、上位群はインスカルよりもアウトスカルに長い時間がかかっていた（52%）のに対し、下位群はアウトスカルが 45-48%でインスカルよりも短かった。

5.2.4 考察

本研究では審判員から得た得点を垂直姿勢保持能力とした。審判員の主な観点は高さ、安定性、姿勢の良さであったことから、サポートスカルスキルは大転子高と関係があると思われるが、両者の間に関連はみられなかった。第 1 章「1.5.3 推進技術の完遂度の評価」で述べたように、高さは水面上に出た身体部分の水面位置で評価されているため、水面に腰がど

Table 16 Scull plane angles to the water surface during one support scull cycle performed by swimmer with excellent and good sculling skills

			<i>Excellent Group</i> (<i>n</i> = 2)	<i>Good Group</i> (<i>n</i> = 2)	<i>All swimmers</i> (<i>n</i> = 11)
<i>Right</i>	<i>Out scull</i>	(°)	15	21	17 ± 4
	<i>In scull</i>		12	19	16 ± 5
<i>Left</i>	<i>Out scull</i>	(°)	16	26	18 ± 5
	<i>In scull</i>		15	22	16 ± 6

Scull plane angles are the angles between the water surface and the planes drawn by the wrists. Out-scutt is scull from inside to outward and In-scutt is scull from outside to inward. The values of All swimmers are indicated as mean±standard deviations.

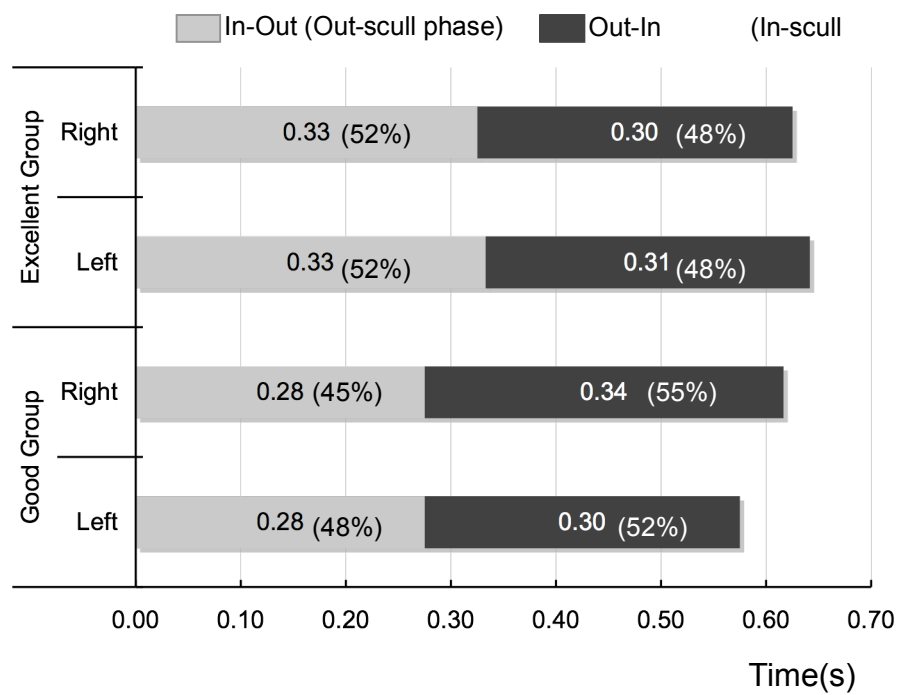


Figure 49 Sculling cycle time during one support scull cycle performed by Japanese National Team with excellent and good skills. Out-scall phase was longer for swimmers with excellent (52%), than with good (45–48%) skills.

れだけ近いかという大転子高よりも水上に上がった脚の長さの方がスキルとの関係があるのかもしれない。今後、垂直姿勢時の高さを分析する方法として、対象者の下肢を 100%とした場合の何%が水面上に上がっているのか、あるいは膝の位置を基準にどれだけ水面上に上がっているのかを検討する必要があると考えられた。さらに、サポートスカルスキルと大転子高との間に関係がみられなかった別の理由として、本研究の対象者の競技レベルが接近しており、統計上有意な関係が認められなかったのではないかと考えられる。

本研究の結果、一流選手の中でサポートスカルスキルが非常に優れている（上位群：Excellent Group）選手とそれよりもやや劣っている（下位群：Good Group）選手の動作の特徴を Table 17 のようにまとめることができる。

正面からみたスカルパターンは内側の尖ったしずく型または外側の円の大きい横 8 の字を描いた。スキルが非常に優れている選手は内側の移行局面で素早く手のひらの向きを切り換え、内から外方向にほぼ水平に前腕を動かしていた。さらに、スカル平面角度の結果から、非常にスキルが優れている選手はスカーリングの間、より水平方向に手を動かしており、Hall（1996）の知見と同一であった。Hall は アメリカシンクロナイズドスイミングナショナルチーム 3 名（1996 アトランタオリンピック金メダリスト）のクレーン姿勢と垂直姿勢時のサポートスカル動作を 3 次元 DLT 法にて分析した。そして、もっともスキルの高い選手の前腕の水平面に対する角度が、他の 2 選手よりも小さかったことを明らかにしている。また、Hall（1985）は、スカーリングの仕組みを理論的に説明し、効率的な動きと安定性を実現するような揚力の最適活用のために常時理想的な手と足の翼角度を保持すること、および揚力発揮の方向は水の中で翼がスカルした面に対して垂直であることから水平にスカルすることが重要である、としている。その一方で、伊藤（2005）はわずかな傾斜をともなったストローク面（両腕のストローク面が「ハ」の字または「逆ハ」の字型になるようなスカルパターン）が姿勢を安定させるのに有効であると述べている。それは、左右の横方向の力が拮抗するので横方向に安定しやすいという見解である。本研究の結果においても、スカル平面角度は完全に水平ではなくわずかな傾斜がついていたことから、選手が結果的に動作しているスカーリングは安定したスカーリング状態にあるのだと考えられる。これらのことより、サポートスカルスキルの非常に優れている選手はアウトスカル時にできるだけ水平方向にスカルすることで、鉛直方向への揚力を発揮し、効率の良いスカルをしていたことが示唆される。

本研究の結果、サポートスカルスキルの非常に優れている選手はスカーリングの間、常時前腕の大きな回外を保ち手のひらを水底に向けるようにしていた。このような回外の運動は、

Table 17 Key differences in support scull techniques between swimmers with excellent and good sculling skills

	<i>Excellent Group</i>	<i>Good Group</i>
<i>Wrist extension & flexion</i>	Small extension throughout scull	Flexion at the last part of in-scull phase
<i>Forearm supination</i>	Hands keep facing bottom throughout sculling with large and small supination on out-scull and in-scull, respectively	Hands rotated to nearly vertical with pronation on in-scull
<i>Attack angles of hands</i>	Smaller attack angles (10-40°) during stroke phases 80° at outside transition phases	Larger attack angles (20-50°) during stroke phases 80° at the outside transition phases
<i>Scull patterns</i>	Inside sharp-pointed ellipse or larger out circle of sideways figure eight	Inside sharp-pointed ellipse or larger out circle of sideways figure eight
<i>Scull plane angles</i>	Smaller scull plane angles Horizontal orientation at first part of out-scull	Larger scull plane angles Vertical orientation at first part of out-scull
<i>Scull ranges</i>	Larger scull range (traced 1/4 circle)	Smaller scull range
<i>Scull cycle time</i>	Longer scull cycle time on out-scull phase	Longer scull cycle time on in-scull phase

最適な迎え角を生んでいるのだと考えられる。Hall (1985) の理論や過去に出版された指導書には、理想的な手の迎え角が必要であることが述べられているがその角度については触れていない。本研究におけるサポートスカルスキルのもっとも優れている選手の迎え角は、インスカルとアウトスカルの両方のストローク局面時は約 20° で、研究課題 1-1：実験 1 のフラットスカル動作時と同様の値を示した。Ito (2006) は、スカーリング時の手のひら形状について数種類の模型を作って揚抗力を求め、最大浮力を生み出す最適な手のひら形状は指を閉じ指先が平面状（直線状）のお椀型であること、そのときの迎え角は $47\text{--}55^{\circ}$ であったことを明らかにした。本研究で得られたストローク局面の迎え角は約 $20\text{--}40^{\circ}$ の範囲で、Ito (2006) が示した迎え角よりも小さかった。流れが定常状態に達するためには、少なくとも運動開始後、翼弦（翼の横幅）の 6 倍以上運動経過しなければならない (Ellington, 1995) といわれている。スカーリングの場合には、手や足の運動方向や速度が常に変化しており、定常状態に達しているとは言い難い。Berger *et al.* (1999) は、定常状態を前提とした手部の推進力分析結果は実際より約 17% 過小評価していることを指摘しており、Lauder and Dabnichki (2005) も同様の見解を示している。今後、スカーリングの実際の動きに近い非定常状態での推進力分析が待たれるところである。

最近では、昆虫の飛翔分析 (Wang, 2000) から得られた非定常揚力理論を応用して、手部が発揮する推進力を定量しようとする試みが行われている (Matsuuchi *et al.*, 2004; Kamata *et al.*, 2006)。Kamata *et al.* (2006) は PIV 法 (particle image velocimetry method) を用いてスカーリング時の流れ場を可視化し、泳者が渦対を形成し流れ方向のジェット流を発生させていたことを明らかとした。そして、スカーリングは、渦とジェット流によって推力を生み出していると示唆している。Kamata *et al.* (2006) の見解はヘリコプタのダウンウォッシュ流と渦から推力を得ているという伊藤 (2005) の見解と同一である。同時に、鎌田 (2006) は、下向き水平姿勢で腕を腹部の下に位置したスカーリング時の手の迎え角を分析し、最小値約 $40\text{--}45^{\circ}$ 、最大値約 $60\text{--}65^{\circ}$ で泳者が適度に迎え角を変化させながらスカルしていることを明らかとした。そして、流れの失速が起こるのは約 $40\text{--}60^{\circ}$ であると考えられ、迎え角が最大となる移動方向の変換点に向けて徐々に迎え角を増大させ、手部から流れが剥離し、渦を形成させていることを突き止めた。スカーリングにおいては、手を平らのまま動かすのではなく、徐々に迎え角を変化させることによって渦を形成させることが重要であると述べている。さらに、スカーリング時にはミバエの飛翔メカニズムで見られたような「失速遅れ」現象を確認したことから、スカーリング時には揚力の貢献度が大きいことを示唆している。本研究は、サポート

スカルスキルのもっとも優れた選手が迎え角をなめらかに変化させていたという点で鎌田の結果と類似したが、本研究で得られたストローク局面における迎え角は約 20-40°で安定しており、それは鎌田の報告よりも小さい値であった。この違いは、鎌田の試技が下向きの水平姿勢で腹部の下でのスカーリングであり、本研究の垂直姿勢でのサポートスカルの試技と、姿勢およびスカルの位置が異なっていたからだと考えられる。シンクロナイズドスイミングのサポートスカルにおいては、効率よく揚力を得るにはストローク局面での約 20-40°の迎え角を保持することが重要であると思われる。

外側の移行局面は水底方向に手が動き半円を描くようなパターンがみられ、迎え角も 80°近くに達していたことから、下方に抗力成分の大きい推進力を発生させるような動きをしながらインスカルに戻していることがわかった。研究課題 2-1：実験 3 でも同様のスカルパターンがみられたことより、アウトスカルからインスカルに切り替わる部分は鉛直方向の動きを伴い抗力の貢献が大きい、ほぼ水平方向にスカルしている部分は揚力の貢献の大きいことが示唆できる。このことは Francis and Smith (1982) の研究とも共通した。また、本研究においてスキルの非常に優れた選手のスカレンジは 100°以上で、身体の中心から身体の真横まで 1/4 円を描くように大きくスカルしていたという結果も、研究課題 2-1：実験 3 のオリンピック群と B 代表群との比較結果と同様であった。最大努力で最高の高さを水上に保持しようとした場合、体重 52 kg の選手で水面位置を膝上 10-17 cm で保持するとき約 7.0-9.0 kgf の荷重負荷がかかる（本間, 2000a）。これだけの荷重負荷を支持するには、外側移行局面で抗力を利用し、大きなスカルをしなければ十分な推進力を得られないのだと考えられる。

5.3 垂直姿勢保持能力と筋力および体組成との関連【研究課題 2-3】

5.3.1 目的

研究課題 2-1：実験 3 および研究課題 2-1：実験 4 の結果から，サポートスカル動作は，肘を支点とした前腕の回転動作であり，肩の外旋・内旋運動によって前腕で水をスカルする技術であることがわかった．垂直姿勢はサポートスカルを用いた基本姿勢で，その姿勢を最高位で保持する際にはおよそ 14-15 kg の水上荷重負荷がかかるともいわれており（本間，2000a），肩の外旋・内旋筋力が必要と考えられる．とくにサポートスカルは前腕の回外を伴いながら肩を外旋する非日常的な動作であり，過去にはスカーリングが主原因と考えられるシンクロナイズドスイミングジュニア選手の尺骨疲労骨折症例が報告されている（長野と大島，1982）．また，垂直姿勢は身体の上半身が水中に浸った状態であるため，体組成と垂直姿勢保持能力に何らかの関連があるといわれている（Hall, 1996; 本間，2005）．そこで，本研究は，一流シンクロナイズドスイミング選手の垂直姿勢保持能力と肩関節外旋・内旋筋力の関係，および垂直姿勢保持能力と体組成との関係を検討することとした．

5.3.2 方法

（1）被験者

被験者は，2007 年世界選手権銀メダリストの女子シンクロナイズドスイミング選手 10 名であった．10 名のうち 8 名は，2008 年北京オリンピック日本代表候補選手であった．平均身長は 1.65 ± 0.04 m，平均体重は 55.1 ± 2.8 kg であった．

（2）垂直姿勢保持能力の評価

垂直姿勢保持能力の評価は，北京オリンピック代表選手第一次選考会および北京オリンピック候補選手対象スキル査定会でそれぞれ実施された垂直姿勢保持テストの得点を用いた．ひとつは，北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットの課題要素のひとつである垂直姿勢保持テストの得点（①垂直姿勢得点），他は，北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施された垂直姿勢保持テストの得点（②デザイン得点）

とした。

北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットは，ルーティン演技遂行に必要な推進技術やフィギュアを含む5課題から構成され，国際審判員6名によって10点満点1/10点併用で採点された．課題のうちの1つは垂直姿勢をできるだけ高い位置で15秒間保持し，垂直姿勢のまま水中に沈み込む垂直姿勢保持テストで，サポートスカルスキルがもっとも反映されるテストである．評価観点は高さ，存在感，安定性，正しい姿勢（デザイン）である．この課題での得点を垂直姿勢得点と呼ぶ．

北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会での垂直姿勢保持テストの課題内容は，垂直姿勢を15秒間でできるだけ高い位置で保持する課題で，デザイン（垂直姿勢の正しさと伸びやかさ）の観点で採点された．ナショナルコーチと国際審判員7名が5点満点1/2点併用で採点した．この課題の得点をデザイン得点と呼ぶ．

（3）測定項目

筋力

BIODEX System3 (Biodex Medical Systems, Inc) を用いて等速性の肩関節外旋・内旋筋力（角速度 60°/s, 120°/s）を測定した．測定値は体重あたりの筋力に換算した．

体組成

空気置換法による Bod Pod (Life Measurement, Inc. USA) を用いて体脂肪率を測定した．

（4）統計処理

垂直姿勢保持能力の垂直姿勢得点およびデザイン得点と，肩関節外旋・内旋筋力，体組成の各項目との関係をみるために，スピアマンの順位相関係数を求めた．有意水準は5%に設定した．

5.3.3 結果

垂直姿勢保持能力の垂直姿勢得点とデザイン得点との間に，有意な相関関係が認められた ($r = 0.773, p < 0.01$) ．

垂直姿勢保持能力（垂直姿勢得点，デザイン得点），肩関節外旋・内旋の等速性最大筋力，および体脂肪率の測定結果を Table 18 に示した．体脂肪率と垂直姿勢得点およびデザイン得点の間に相関関係は認められなかった（ $r=0.359$, $r=-0.043$ ）．肩関節外旋・内旋筋力の測定値と，垂直姿勢得点およびデザイン得点との間に有意な相関関係は認められなかったが，体重あたりの 60°/s および 120°/s での肩関節外旋筋力と，垂直姿勢得点およびデザイン得点との間に有意な相関関係が認められた（Table 19）．

5.3.4 考察

研究課題 2-2：実験 4 の結果と同様に，体脂肪率とサポートスカルスキルの間に関係はみられなかったことから，体脂肪の多い選手の方が浮力を得やすいという通説は本研究では認められなかった．これは，おそらく本研究の被験者が全員日本代表レベルであったことから，仮に体脂肪が少なく浮きにくい身体特性を持っていたとしても，このレベルに到達するまでにその不利さを別の要素で克服し，パフォーマンスを達成しているからだと推測される．体組成の影響を検討するには，今後，競技レベルに差のある個人間で比較する必要があるだろう．

肩外旋筋力が垂直姿勢保持能力と有意な関係がみられたのは，サポートスカル動作の特異性に起因しているのではないかと考えられる．サポートスカル動作は肘を支点にした前腕の回転運動であるが，肘を屈曲し，手のひらを顔の方へ向けた回外状態からさらに前腕の回外を伴いながら肩を外旋する非日常的な動作である．日常において，肩の内旋を伴う動作はたびたび用いられるが，外旋を伴う動作は稀である．したがって，個人間における内旋筋力の差よりも外旋筋力の差がサポートスカルスキルに関係が深いという結果を得たのだと推察される．このことから，棘下筋，小円筋などの上腕の外旋筋群をトレーニングすることが重要と考えられる．これらの筋はインナーマッスルと呼ばれ肩の深層部にあるため，選手が意識しづらい筋である．アウターマッスルと違ってマシンでは鍛えにくいいため，ラバー製バンドや軽量ダンベルなどを用いて筋の動きを意識しながら慎重にトレーニングを行うことが重要である．また，肩を固定してスカーリングを行うには，体幹と上腕を結ぶ大胸筋や広背筋などの大きな筋も重要である．それゆえ，サポートスカルスキル改善のためには肩甲骨周辺の筋をバランスよく鍛える必要がある．

Table 18 Scores of supporting the Vertical Position, percent body fat and isokinetic peak torque of shoulder internal and external rotations by using Biodex System 3 for Japanese elite synchronized swimmers

Swimmers		C	I	B	E	J	G	H	F	A	H	mean	SD
垂直姿勢保持能力													
垂直姿勢得点		16.65	16.25	16.35	15.85	16.15	15.85	16.65	16.60	15.00	15.35	16.07	0.53
デザイン得点		3.43	3.50	3.43	3.07	3.14	3.07	3.14	3.14	2.43	2.50	3.1	0.3
体組成・形態													
身長	m	1.67	1.68	1.64	1.64	1.63	1.59	1.61	1.61	1.74	1.66	1.65	0.04
体重	kg	57	58	56	54	53	51	54	51	60	57	55.1	2.8
体脂肪率	%	18.5	23.6	20.8	22.3	23.3	21.5	15.1	23.3	16.1	19.9	20.4	2.9
除脂肪体重	kg	46.3	44.4	44.5	42.1	41	40.1	45.7	39.2	50.4	45.3	43.9	3.2
肩外旋内旋筋力													
内旋右 60°/s	Nm	31	26	30	21	24	19	26	22	29	25	25.3	3.7
内旋左 60°/s	Nm	28	27	32	19	24	23	25	21	31	26	25.6	3.9
外旋右 60°/s	Nm	21	20	22	15	16	13	18	19	20	17	18.1	2.7
外旋左 60°/s	Nm	19	19	21	16	14	14	18	17	20	17	17.5	2.2
内旋右 120°/s	Nm	28	23	29	17	22	19	21	21	27	20	22.7	3.8
内旋左 120°/s	Nm	27	28	26	18	22	21	24	18	28	22	23.4	3.6
外旋右 120°/s	Nm	18	18	20	13	13	11	16	18	17	14	15.8	2.7
外旋左 120°/s	Nm	17	18	17	14	12	11	16	13	16	14	14.8	2.2

SD: standard deviations.

垂直姿勢得点：北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点は高さ、安定性、正しい姿勢(デザイン)。

デザイン得点：北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点はデザイン(垂直姿勢の正しさと伸びやかさ)。

Table 19 Correlations (r) between scores of supporting Vertical Position and isokinetic peak torque (Nm/BW) of shoulder internal and external rotations, for Japanese elite synchronized swimmers

	垂直姿勢得点	デザイン得点
体重あたり肩関節外旋内旋筋力 (Nm/BW)	r	r
内旋右 60°/s	0.396	0.389
内旋左 60°/s	0.140	0.315
外旋右 60°/s	0.633 *	0.663 *
外旋左 60°/s	0.478	0.322
内旋右 120°/s	0.366	0.457
内旋左 120°/s	0.262	0.531
外旋右 120°/s	0.646 *	0.642 *
外旋左 120°/s	0.463	0.654 *

* $p < 0.05$

垂直姿勢得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点は高さ、安定性、正しい姿勢(デザイン)。

デザイン得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点はデザイン(垂直姿勢の正しさと伸びやかさ)。

5.4 サポートスカルの動作特性と指導観点【研究課題2のまとめ】

研究課題2-1〔実験3〕では、シンクロナイズドスイミングオリンピック銀メダリスト4名と、日本代表Bチームおよび日本代表ジュニアチームに属する選手6名の、サポートスカル動作を3次元画像分析し、オリンピックメダリストと、日本代表Bチームおよび日本代表ジュニアチーム選手との比較、および負荷なしと1.5 kg 負荷試技との比較から、サポートスカルの動作特性を明らかにした。

研究課題2-2〔実験4〕では、11名のシンクロナイズドスイミング日本代表選手を対象に、垂直姿勢保持能力の高い選手と低い選手のサポートスカル動作を、3次元画像分析を用いて比較し、サポートスカルスキルの優れた選手の動作の特長から動作特性と技術的な指導観点を導き出した。

研究課題2-3では、10名のシンクロナイズドスイミング日本代表選手を対象に、垂直姿勢保持能力と肩関節外旋内旋筋力との関係、および垂直姿勢保持能力と体組成との関係を検討した。

研究課題2-1、2-2、2-3の結果から、サポートスカルの動作特性と指導観点をつぎのようにまとめることができる。

サポートスカルは、肘を支点とした前腕の回転動作で、肩の外旋内旋運動によって前腕と手で水をスカルする技術である。スキルの高い選手は上腕が固定されていることが示され、このことはフラットスカルとサポートスカルの共通の特徴であり、安定性を増すことにつながっていると考えられた。肘は指導書でいわれてきた90°より広く保ち100–145°の範囲で屈曲していること、アウトスカル局面で肩が外転するのに合わせて肘を伸展させ前腕の水平を保っていること、および身体の正面から真横までを大きくスカルしていることが動作特性として示された。さらに手のひらが水底に向くよう前腕を回外させ、約20–40°の一定の迎え角を保っており、この値はフラットスカルと共通した。この動きは前腕と手で効率良い揚力を得ようとすることから生み出されていると考えられた。スカルパターンは、フラットスカルと同様に、指導書でいわれている横8の字型ではなく、外側の円が大きい横8の字または内側が尖ったしずく型を描くことが示され、スキルの高い選手は水平方向にスカルをしていた。これらのことから、ストローク局面では揚力成分の大きい推進力を発揮し、外側移行局面で水底方向に水を押す動きが入ることが観察され、水上の荷重負荷を保持するために外側の移

行局面で抗力を利用していることが示唆された。

サポートスカルの指導観点は、1) 上腕と肘をできるだけ固定すること、2) 肘は身体からわずかに離してセットすること、3) 肘を直角よりやや広く曲げ（約 110-145°）常に前腕を水平に保つこと、4) できるだけ水平方向へスカルすること、5) 前腕を回外させ手のひらを常に水底に向けてスカルすること、および 6) 1/4 円を描く感じで身体の正面から真横までをスカルすることであった。先行文献では、上腕と肘を固定してスカルすること、肘を 90°に曲げてスカーリングすること、スカルレンジは身体の真横から前方に 60°くらいまでとすることが述べられているが、上腕と肘をできるだけ固定すること以外の指導観点については先行文献と異なる結果を得た。

スキルと肩外旋筋力との関連がみられたことから、サポートスカルのスキル習得のためには肩外旋筋群を意識しながらトレーニングすること、ならびに、姿勢を安定させてスカル動作を行うために大胸筋、広背筋などの体幹と上腕をつなぐ大きな筋および肩甲骨周辺の筋をバランスよく鍛える必要があることが示唆された。

第6章 エッグビーターキックの動作特性と指導観点

6.1 エッグビーターキックスキルの高い選手の動作【研究課題 3-1：実験 5】

6.1.1 目的

本研究は、シンクロナイズドスイミング日本代表選手のうち、総合的なパフォーマンス能力に対して相対的にエッグビーターキックスキルの高い選手と低い選手のエッグビーターキック動作を比較し、エッグビーターキックスキルの高い選手の動作の特長から技術的な指導観点を導き出すことを目的とした。

6.1.2 方法

(1) 被験者

被験者は6名の女子シンクロナイズドスイミング選手であった。6名のうち5名は1996年アトランタオリンピックおよび2000年シドニーオリンピックの銀メダリストで、6名全員が1998年、2001年、2003年の世界水泳選手権の銀メダリストであった。Table 20に被験者の身体特性とエッグビーターキックスキルを示した。

(2) エッグビーターキックスキルの決定

本研究では6名を相対的なエッグビーターキックスキルによって能力別に分類した。分類は、国際大会派遣日本代表選手選考会で実施されたルーティンセットの合計得点とエッグビーターキックスキルテストの得点の比率をもとに行った。選考会で実施されたルーティンセットはルーティン演技遂行に必要な推進技術やフィギュアの9課題から構成され、国際審判員によって採点された。ルーティンセットの9課題のうちの1つはエッグビーターキックスキルを評価するテストであった。これは両腕を約60°の幅で水上に挙上して伸ばし、前方に5m前進するという課題であった。ルーティンセットの合計得点とエッグビーターキックスキルテストの得点の比率を算出した結果、Table 20に示したように、A, B, C, Dの4名とE, F

Table 20 Physical characteristics and eggbeater kick skill levels of the swimmers

Swimmers	Age (yr.)	Height (m)	Weight (kg)	Dominant leg	Results of National Team Trial		Eggbeater kick skill		Experience level
					Score for Eggbeater Test (a)	Total Score (b)	(a) ³ (b) * 100	Overall Evaluation for Grouping	
A	23	1.64	50.6	right	8.167	159.367	5.125	Excellent	Olympics
B	18	1.72	57.4	right	8.834	152.810	5.781	Excellent	Olympics
C	21	1.64	56.0	right	8.333	163.958	5.082	Very Good	Olympics
D	23	1.68	54.6	right	8.167	167.974	4.862	Very Good	Olympics
E	18	1.69	60.2	right	6.667	160.908	4.143	Good	Olympics
F	21	1.64	56.6	right	6.000	149.359	4.017	Good	World Champs
Mean	20.7	1.67	55.9		7.695	159.063	4.835		
Standard diviation	2.1	0.03	2.9		1.007	6.326	0.604		

The values for eggbeater skill levels are indicated as (a)³(b)*100, which denotes relative ability in the eggbeater kick skill.

の2名との間に能力の差がみられた。とりわけ、B選手は全体の能力に比べて非常に高いエッグビーターキックスキル比率（A, 5.125, B, 5.781）を有し、逆にE選手とF選手はエッグビーターキックスキル比率がかなり低かった（E, 4.143, F, 4.017）。このようにして得た客観的評価に、長年トレーニングを担当しているナショナルヘッドコーチの主観的な評価を加え、A, B選手を上位群（Excellent Group）、C, D選手を中位群（Very Good Group）、E, F選手を下位群（Good Group）の3ランクに分けた。

（3）分析方法

Figure 50 に実験の構成を示した。シャッタースピード 1/100 秒、毎秒 30 コマで撮影できるビデオカメラを 2 台使用し、1 台はハウジングに入れ水中から、他の 1 台はプールの水中窓から撮影した。2 台のビデオカメラは外部同期信号発生装置と、フレームカウンターによって同期した。

手動でのデジタイズ処理を容易にするため、スイマーの大転子点、膝、つま先をホワイトテープでマーキングした。これらのマーカーは、後に各関節の中心を推定するために用いられた。デジタイズポイントは股関節中心、膝関節中心、足関節中心、踵骨、第 1・第 5 中足骨の遠位端、末節骨とした。下肢は大腿部、下腿部および足部を剛体とみなしたリンクセグメントモデルとして分析した。

撮影された画像は Macintosh コンピュータに取り込み、数値計算ソフト Mathematica（Wolfram Research Inc. USA）にリンクした Movie digitizer（宮地, 1998; Miyaji and Abbot, 2001）上でデジタイズ処理を行った。3次元座標は3次元 DLT 法（池上, 1983; 池上ほか, 1991; Shapiro, 1978）により算出した。基準座標系はプールに対応して定義した（Figure 50）。z 軸は水面を基準とした鉛直方向、y 軸は水平方向、x 軸は泳者から見える水中窓の方向とした。220 のコントロールオブジェクトを有する 1.5 m×1.6 m×1.4 m の直方体を 3次元 DLT コントロールオブジェクトとして用いた。校正座標を再現した場合の誤差は x 軸 0.011 m, y 軸 0.025 m, z 軸 0.016 m であった。3次元座標データは基準座標系より換算された。すべての 3次元座標データは Mathematica の interpolate function を用いて 120Hz のデータに補間し、バターワースローパスフィルタにより遮断周波数 8Hz で平滑化した。

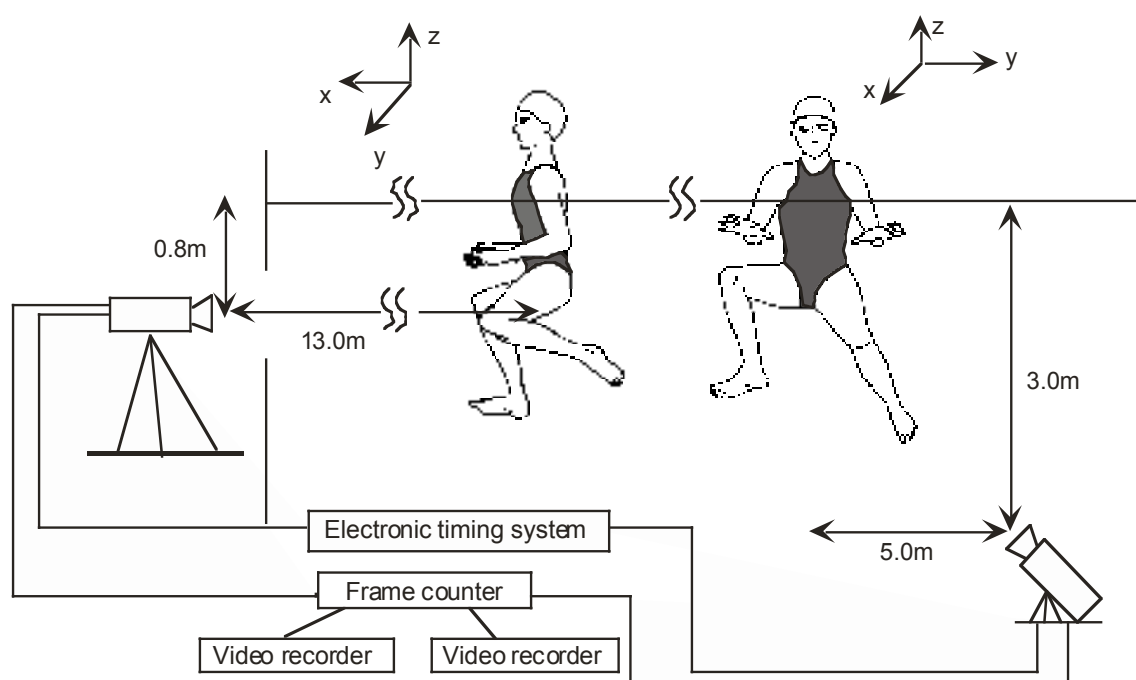


Figure 50 Schematic diagram of experimental set-up at present study.

(4) 試技

試技は、その場でのエッグビーターキックを2種類の状態で行わせた (Figure 51)。ひとつは両腕を水上に挙上した状態 (両腕挙上：Arms up position)、他は両腕を上体の前に置いた状態 (両腕水面：Normal position) とした。腋の下を結んだラインまで身体を水上に出すように指示し、約5秒間エッグビーターキックを行わせた。

(5) 分析項目

エッグビーターキック動作は反復動作であるため、動作の中の安定した1サイクルのみを分析対象とした。本研究では、左膝が伸びた位置を開始点として1サイクルを分析した。

分析項目は、大転子の高さを基準 (zero) とした膝、踵の相対的な高さ、大腿部の相対角、足首の描く平面 (足首平面) と水面との角度、および下肢の大腿部、下腿部、足部の角速度であった。

足首の描く平面 (足首平面) と水面との角度は、エッグビーターキックにおける足首の軌跡は楕円を描くと考え、この軌跡が同一平面上にあると仮定し、その平面が水面となす角度を求めた。したがって、Figure 52 に示すように、最小2乗方法で平面方程式 ($ax + by + cz = d$, $a^2 + b^2 + c^2 = 1$) の係数 a , b , c の値を得た。これら (a , b , c) が平面の法線ベクトル (\mathbf{p}) であるので、各基準面と足首平面のなす角は余弦定理で求めることができる。

下肢の大腿部、下腿部、足部の角速度は、身体各部分に固定した直交単位ベクトルを数値微分することにより算出した。大腿部、下腿部、足部の角速度の運動座標系は以下のように定義した。Figure 53 に示すように、大腿の長軸を z_l 軸とし、左右大転子のベクトル線が仮 x_l' 軸であると仮定した。 z_l 軸と x_l' 軸ベクトルの外積から y_l 軸を決定した。そして、 y_l 軸と z_l 軸の外積から真の x_l 軸を導き出した。下腿部の長軸を z_f 軸とし、下腿部と大腿部からなる平面の法線ベクトルを x_f 軸と定めた。そして、 z_f 軸と x_f 軸の外積から y_f 軸を導き出した。かかとから爪先までの線を z_f 軸とみなし、これと下腿部からなる平面の法線ベクトルを x_f 軸と定めた。足部についても同様に、 z_f 軸と y_f 軸の外積から y_f 軸を導き出した。

各部の運動座標系の単位ベクトルが \mathbf{i} , \mathbf{j} , \mathbf{k} であると仮定し、次の式 (阿江, 1991; Feltner and Nelson, 1996) でそれぞれ、各軸の周りの角速度 ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$) のコンポーネントを得た。なお、各ベクトル速度は5点移動平均微分法により得た。

$$\omega_1 = \mathbf{k} \cdot d\mathbf{j} / dt, \quad \omega_2 = \mathbf{i} \cdot d\mathbf{k} / dt, \quad \omega_3 = \mathbf{j} \cdot d\mathbf{i} / dt$$



Figure 51 Eggbeater kick in the normal position (top photo) and in the arms up position (bottom photo).

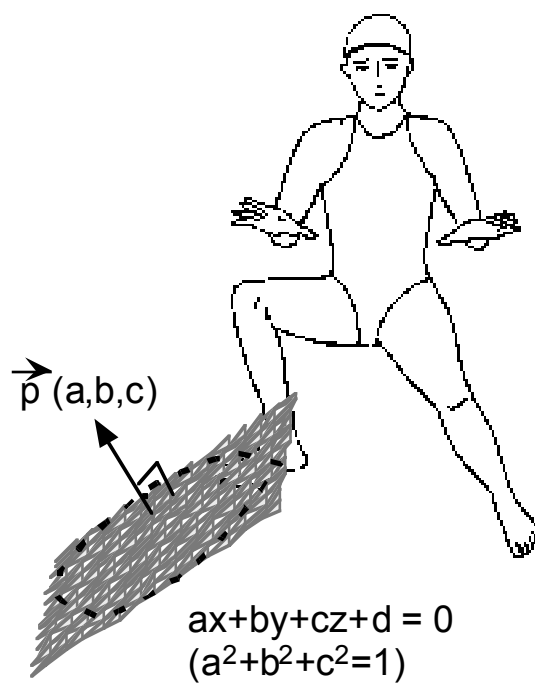


Figure 52 Determining the ankle plane.

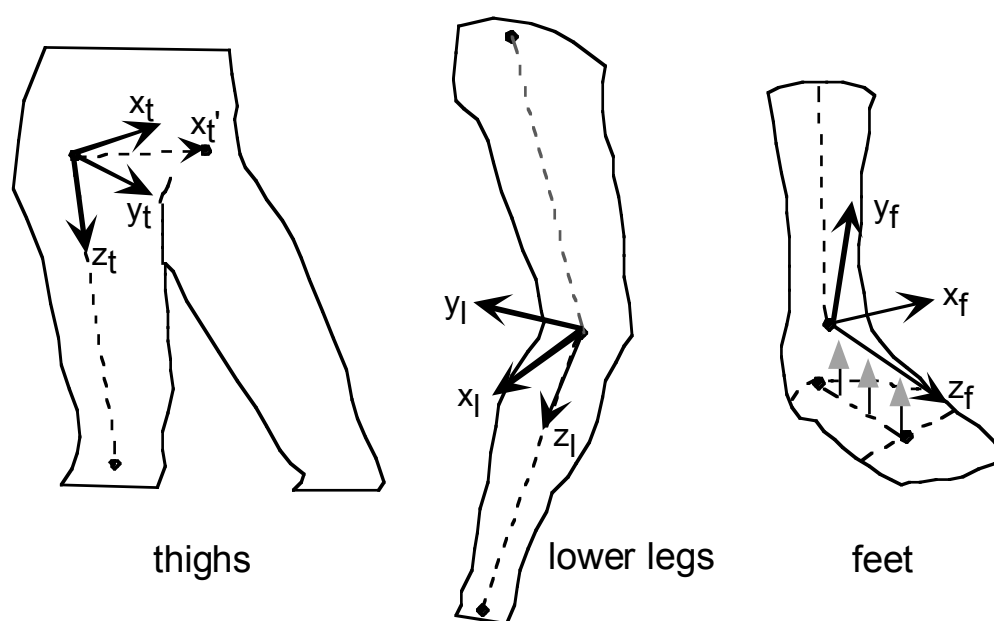


Figure 53 Determining the coordinate system for the angular velocity of the thighs, lower legs and feet.

この式は、次の式から計算された。

$$d\mathbf{i}/dt = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{i}, \quad d\mathbf{j}/dt = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{j}, \quad d\mathbf{k}/dt = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{k},$$

$$\boldsymbol{\omega} = \omega_1 \mathbf{i} + \omega_2 \mathbf{j} + \omega_3 \mathbf{k}$$

本研究では身体部分に固定された座標軸ではなく、隣り合った身体部分を使って運動座標軸を決定しているため、本来の角速度を算出しているわけではない。それゆえ、研究方法の限界として認識される。しかしながら、いくつかの先行研究もあり、身体部分の運動の特徴をあらわしていると考えられる。また、この方法では、特別な状態、たとえば大腿部と下腿部の長軸方向が互いに平行になる場合は座標系が算出できなくなるが、本研究ではそのようなことは生じなかった。

6.1.3 結果

(1) 膝と踵の高さ

上位群の A 選手と下位群の E 選手の両腕水面でのエッグビーターキック動作のスティックピクチャーを Figure 54 に示した。両腕水面における A 選手と E 選手の 1 サイクル中の膝と踵の高さの変動を Figure 55 に示した。膝と踵の高さは、大転子を基準 (zero) とし、大転子からの距離で表した。全選手の膝と踵の高さ、および膝と踵の垂直方向の動作範囲 (最大値と最小値の差) を Table 21, Table 22 に示した。

膝の高さは、A 選手と E 選手のいずれもインキック時に最大値を示し、膝がほぼ伸び切るアウトキックの最後に最小値が現れた。両腕水面と両腕挙上の両方における膝の高さは、上位群の A 選手と B 選手が他の 4 名の選手よりも高い値を示した。特に両腕水面では、A 選手と B 選手の膝の最大値は大転子よりも高く、膝が水面近くまで引き上げられていたが、他の 4 名の選手のそれは大転子とほぼ変わらない位置までしか引き上げられていなかった。しかし、膝の鉛直方向の動作範囲、つまり上下に動く動作範囲 (最大値と最小値の差) は 6 名ともあまり変わらなかった。

踵の高さをみると、膝と同様に A 選手と B 選手の踵の高さが他の 4 名に比べて高かった。両腕水面における右踵の最大値は、A 選手が大転子から 84 mm、B 選手が大転子から 96 mm 上方であった。さらに、A 選手と B 選手の踵の上下の動作範囲 (最大値と最小値の差) が他の 4 名に比して小さかった。

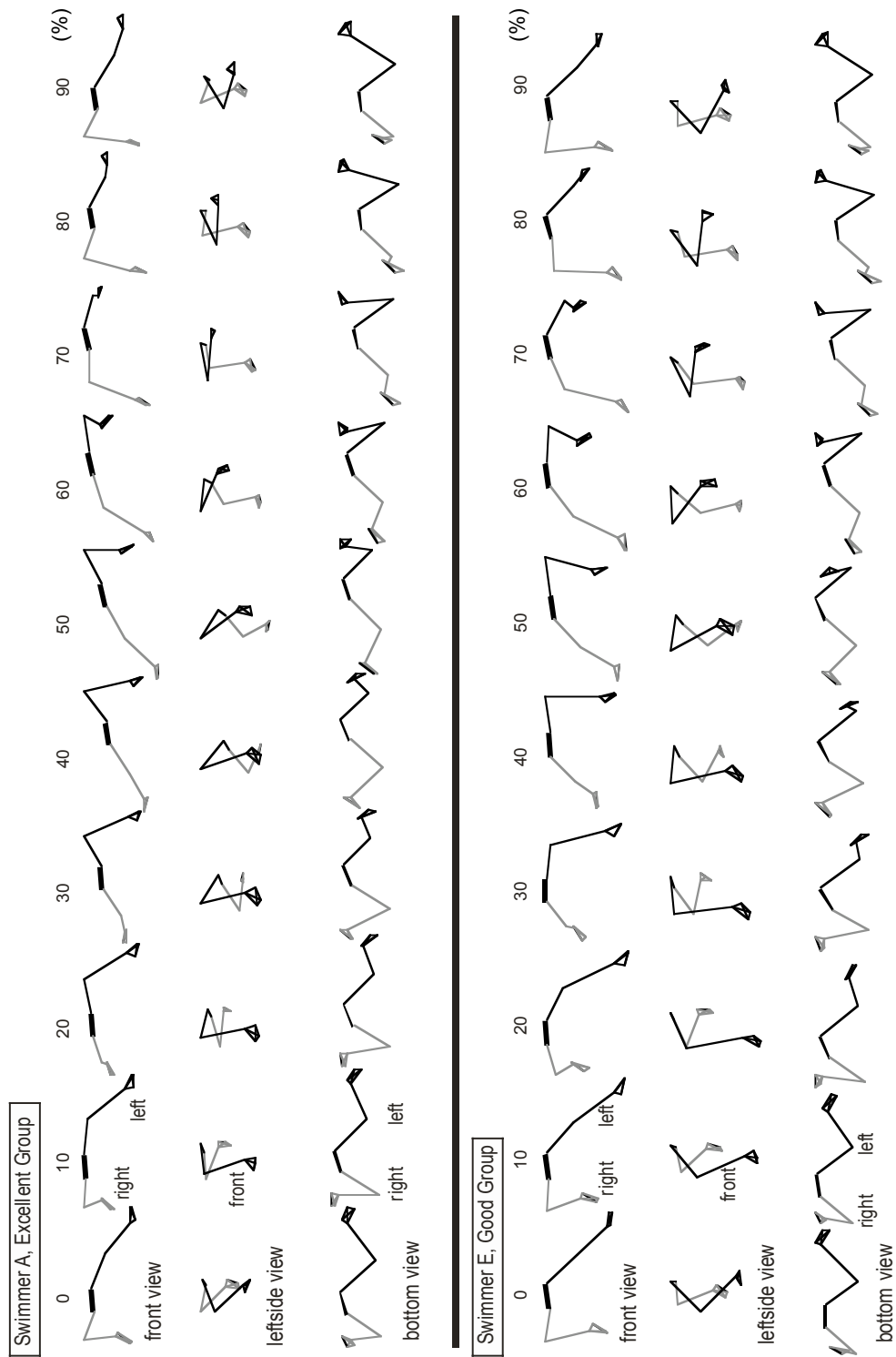


Figure 54 Stick figure of the eggbeater kick in the normal position for swimmer A, Excellent group, and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers. One eggbeater kick cycle is 100%.

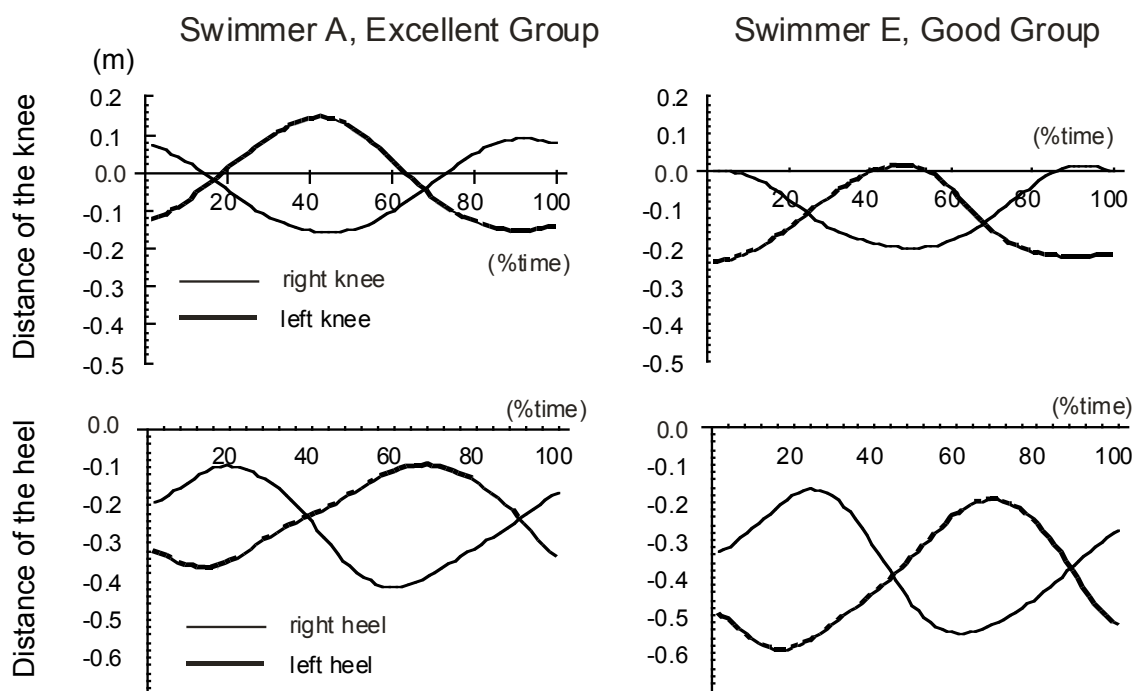


Figure 55 Distance profiles of the knee and heel from the greater trochanter (0.0: zero) during one eggbeater kick motion in the normal position for swimmer A, Excellent Group and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers. The distance of the knee and the heel means the relative height of the knee and the heel. One eggbeater kick cycle is 100%.

Table 21 Distance profiles for the knees from greater trochanter during one eggbeater kick motion in the normal position and in the arms up position

subject	Normal position						Arms up position					
	Right			Left			Right			Left		
	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)
A	114	-139	253	69	-176	245	75	-192	267	26	-189	215
B	89	-157	246	144	-156	300	100	-193	293	97	-152	249
C	-10	-203	193	47	-169	216	16	-219	235	11	-229	240
D	48	-206	254	21	-232	253	25	-225	250	-31	-253	222
E	18	-202	220	16	-242	258	27	-204	231	-45	-259	214
F	37	-208	245	13	-218	231	14	-220	234	-75	-266	191
Mean	49	-186	235	52	-199	251	43	-209	252	-3	-225	222
Standard deviation	46	30	24	50	36	29	36	14	24	61	45	21

Motion ranges show the differences between the maximum and minimum values. All units are mm.

Table 22 Distance profiles for the heels from greater trochanter during one eggbeater kick motion in the normal position and in the arms up position

subject	Normal position						Arms up position					
	Right			Left			Right			Left		
	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)	Max	Min	Motion Ranges (Max-Min)
A	-84	-388	304	-189	-442	253	-101	-441	340	-142	-462	320
B	-96	-414	318	-96	-366	270	-62	-435	373	-97	-410	313
C	-162	-497	335	-138	-457	319	-149	-501	352	-160	-519	359
D	-114	-488	374	-186	-540	354	-71	-488	417	-172	-567	395
E	-165	-547	382	-193	-593	400	-170	-539	369	-188	-597	409
F	-131	-485	354	-166	-509	343	-135	-500	365	-195	-630	435
Mean	-125	-470	345	-161	-485	323	-115	-484	369	-159	-531	372
Standard deviation	34	58	31	38	80	55	44	40	26	36	84	49

Motion ranges show the differences between the maximum and minimum values. All units are mm.

また、時系にそって膝と踵の高さの変動をみると、波形のパターン（山）がずれていることがわかった。つまり、インキックの最後で膝がもっとも高く引き上げられ、踵は次のアウトキックに移る局面で最高位に達していた。踵が最高位に達したときは、膝は最大値よりも少し下がった位置にあった。これを Figure 54 で説明すると、1 サイクルを 100 とした場合、A 選手の 40%で左膝が最高位に達し、70%で左踵が最高位に達していた。この結果、下肢の動きは、A 選手の 70%の左脚にみられるように、膝と踵がほぼ同じ高さになる瞬間が現れる。この動きは、A 選手では顕著にみられるが、下位群の E 選手は踵が引き上げられる動作が十分ではなく、膝と踵が同じ高さになる瞬間がみられなかった。

（2）大腿部の相対角

両腕水面での A, C, E 選手の 1 サイクル中の左右大腿部のなす相対角の変動を Figure 56 に示した。A, B, C 選手の 3 名は D, E, F 選手に比べて最大値、最小値ともに相対角が大きく、終始、大腿部を大きく開いた状態でエッグビーターキックをしていた。

（3）足首が描いた曲線の平面と水面のなす角

両腕水面時の A 選手と E 選手の足首が描く曲線の平面と水面のなす角を Figure 57 に示した。また、全選手の両腕水面と両腕挙上における、足首が描いた曲線の平面と水面のなす角（Angle to XY）、および右足が描いた曲線の平面と左足が描いた曲線の平面の間の角度（Angles between right and left planes）を Table 23 に示した。Figure 57 のシャドウがかかったエリアが足首が描いた曲線の平面で、平面と水面のなす角度が大きいほど平面が大きく見える。つまり、E 選手は A 選手よりもこの角度が大きく、足部が上下に大きく動いていたことを示している。一方、A 選手は E 選手よりも足部の上下の動きが小さく、水平に近い動きをしていたことがわかる。両腕挙上時の右足を除いて、上位群の A 選手と B 選手が他の 4 名に比べて足首が描く曲線の平面と水面のなす角（Angle to XY）が小さかった。各選手について足首が描いた平面の角度を左右で比べてみたところ、利き足との関連はみられなかった。その一方で、Table 23 に示した両腕水面における右足が描いた平面と左足が描いた平面の間の角度（Angles between right and left planes）は、A 選手と B 選手は 103°, E 選手と F 選手はそれぞれ 86°, 72°であった。このことから、A 選手と B 選手は足をより水平にキックしており、他の選手は鉛直にキックしていたことがわかった。この特徴は Table 22 に示した踵の高さ変動の結果からも伺えた。

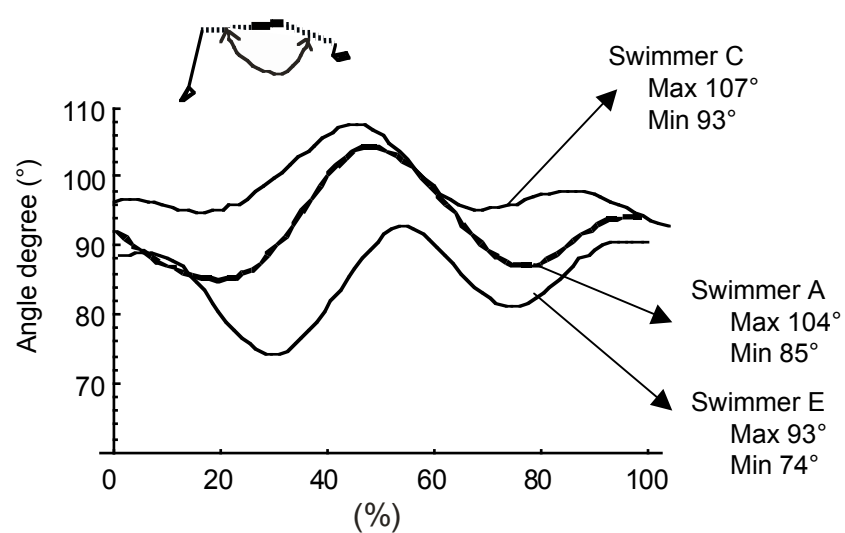


Figure 56 Relative angle of the thighs, which means the angle profile of between the right and left thigh, during one eggbeater kick motion in the normal position for swimmer A, Excellent Group, swimmer C, Very Good Group and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers.

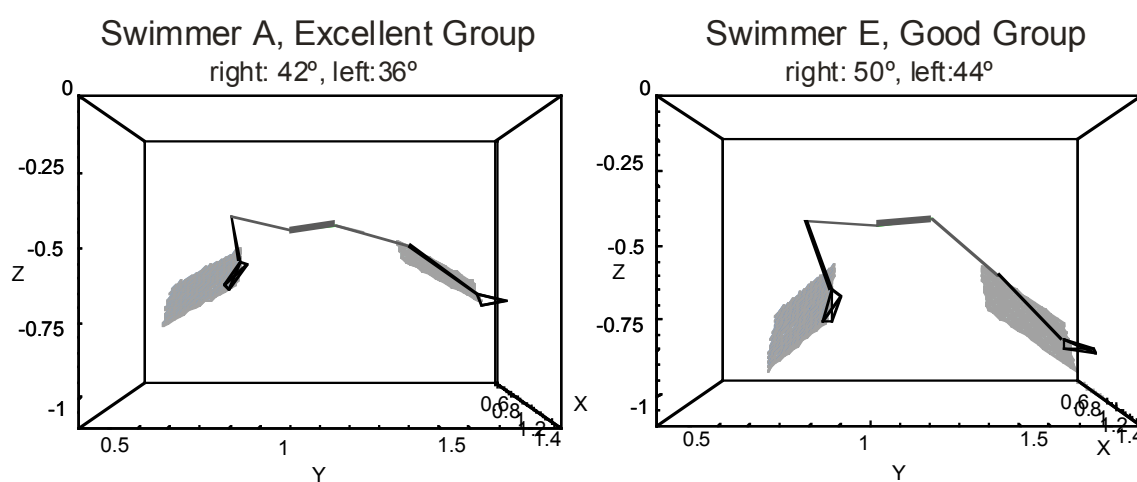


Figure 57 The planes that the ankles formed through the eggbeater kick in the normal position, and the angles between these planes and the water surface for swimmer A, Excellent Group and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers. The planes that the ankles formed are shown by shadowing.

Table 23 Angles between planes that swimmers' ankles formed and the water surface, and the angles between right and left planes during one eggbeater kick motion in the normal position and in the arms up position (degrees)

	<i>Normal position</i>			<i>Arms up position</i>		
	<i>Angles to XY (to the water surface)</i>		<i>Angles between right and left planes</i>	<i>Angles to XY (to the water surface)</i>		<i>Angles between right and left planes</i>
	<i>Right</i>	<i>Left</i>		<i>Right</i>	<i>Left</i>	
A	42	36	103	53	47	81
B	41	37	103	55	40	85
C	48	45	88	49	56	75
D	44	45	91	49	50	82
E	50	44	86	50	51	79
F	50	58	72	53	59	68
Mean	46	44	90	51	50	78
Standard diviation	4	8	11	3	7	6

(4) 下肢の各部の角速度

Figure 58 に上位群の B 選手と下位群の E 選手の両腕挙上時の左下肢の大腿部，下腿部，足部の角速度を示した．B 選手と E 選手とを比較すると，大腿部では，B 選手はアウトキック前半に内旋の動きが強くみられ，E 選手はこの動きがほとんどみられなかった．また，上位群 A 選手の右の大腿部においても B 選手と同様の角速度パターンがみられた．大腿部の角速度変化は，全選手ともに右と左に多様なパターンがみられたが，いずれも利き足との関連はみられなかった．下腿部の角速度変化は両者に大きな違いはみられなかった．足部においては，A 選手と B 選手はインキックからアウトキックに移行する局面で背屈の強い動きがみられ，B，C，F 選手はアウトキックの中盤で内転が強くみられた．エッグビーターキックスキルの低い者にはアウトキック開始時の背屈がほとんど見られなかった．

6.1.4 考察

以上の結果から，エッグビーターキックスキルの高い選手の動作特長は，膝と踵の位置が高いこと，踵の上下の動作範囲が小さいこと，大腿部の相対角が大きいこと，足首が描く曲線の平面と水面とのなす角が小さいこと，右と左の足首が描いた曲線の平面間の角度が大きいこと，インキックの最後の局面で足の強い背屈がみられたことであった．さらに，エッグビーターキックスキルの高い選手は部分的にアウトキックの際に大腿部の強い内旋とアウトキックの中盤で足の強い内転の動きがみられたことであった．

エッグビーターキックスキルの高い選手が膝と踵の位置が高かったという結果は，膝をできるだけ広く高く保持することで大きなベース（基部）を確保できるという Zielinski (2001) の記述を裏付けるものであった．また，エッグビーターキックスキルの高い選手が踵の高さが高かったことは，足首が描いた平面の左右間の角度が大きかったという結果とも深く関連している．

膝が伸びると大腿の内旋・外旋の可動範囲が小さくなり膝を中心として下腿が描く円錐の底面積，すなわち足が描く楕円が小さくなる．いいかえれば，膝を引き上げることで，踵を引き付け足を大きく回してキック面積を増やす動きが容易になる．また，膝と踵を高い位置におくことは，演技中につぎの動作に移行しやすいという利点がある．このことから，指導

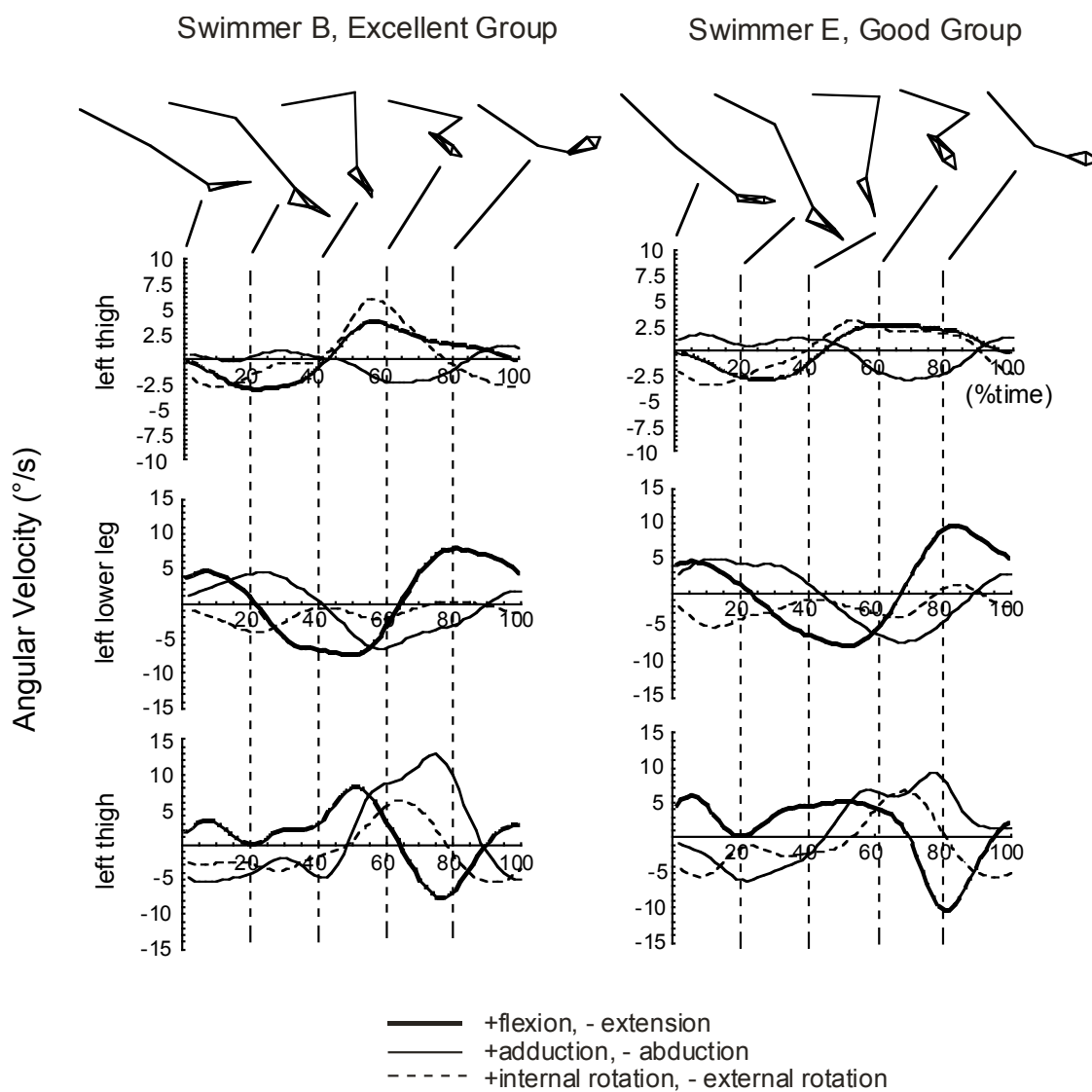


Figure 58 Angular velocity profiles around each axis in the moving systems during eggbeater kick motion in the arm up position for swimmer B, Excellent Group, and swimmer E, Good Group, of Japanese elite synchronized swimmers.

時には、膝を大転子の高さもしくは大転子より高く引き上げること、および踵を十分に臀部の近くまで引き上げることに留意することが重要である。

エッグビーターキックスキルの高い選手は足首の描いた平面と水面とのなす角が小さかったことは、足首が水面に近いところで平面を描いていたことを示し、このことは踵の上下の動作範囲が小さかったという結果と関連している。つまり、エッグビーターキックスキルの高い選手のエッグビーターキックは、下方へ蹴る要素が小さく、揚力を発揮させるために必要な水平の動きに近かったことが明らかとなった。エッグビーターキックの足の動きはスカーリングの手の動きと同じく揚力を生み出している (Zielinski, 1997; Sanders, 1999a, 1999b)。特にシンクロナイズドスイミングのエッグビーターキックとスカーリング時には、定位置で安定した動作を行うことが求められており、そのためには揚力を発生させるような技術が効率的である。このように揚力を効率的に生む動き、すなわち、足部をできるだけ水平に近い平面上で動かすためには、膝と踵の両方の位置を高く保つことが重要である。膝が伸びて下方へ蹴るという動作ではなく、膝と踵を高く保ったままキックすることで、自然とこのような動きに近づくと思われる。これらのことから、エッグビーターキックスキルの高い選手は揚力要素の大きい動きをしているといえる。その一方で、エッグビーターキックスキルのやや低い選手は下方への蹴りが大きく、エッグビーターキックスキルの高い選手よりも抗力に依存が大きい動きになっていると考えられる。これより、エッグビーターキックスキルの高い選手は‘水平キックタイプ’、エッグビーターキックスキルのやや低い選手は‘鉛直キックタイプ’と名付けることができる。このことは Sanders (1999a, b) が明らかにした研究結果と一致した。

つぎにエッグビーターキックスキルの高い選手は大腿部の相対角が大きい傾向がみられた。これは膝と股関節を屈曲した状態で股関節を横に開いた姿勢を保持しているということである。シンクロナイズドスイミングにおいてエッグビーターキックを用いたアームシークエンス時は、腰の真上に肩と頭を乗せ、背すじの伸びた良い姿勢で遂行することが望まれる。すなわち、上体（頭頂から腰まで）の重心は身体の前額面上に位置する。股関節を横に開くことで、推力発揮部を身体重心の平面上（前額面）に置きやすくなり、身体の前後への回転モーメントが発生しにくいので安定した姿勢の保持に貢献していると考えられる。このことについては身体合成重心および浮心を求めるなどして客観的に検証する必要がある。水上・水中の合成画像を用いて検討することを今後の課題としたい。

また、頭を頂点とし両大腿が底辺となる二等辺三角形を仮定すると、底辺が大きくなれば

なるほど抵抗面積が増えるので姿勢の安定につながると考えられる。脚を横に開くという結果は膝と足はできるだけ広いベースを作らなければならないという Zielinski (2001a) のマニュアルの記述を支持するものであった。この姿勢を遂行するには、大腿を水平近くまで引き上げ保持しなければならないことから、股関節の屈曲筋力ならびに柔軟性が重要であると考えられる。

選手によって右と左の下肢の角速度変化パターンはさまざまであったが、エッグビーターキックスキルの高い選手は、アウトキックの終了間際に左右どちらかの大腿部に強い内旋がみられた。Zielinski (2001a) によると大腿部の動きには 2 つのタイプがあり、ひとつは大腿の強い内旋を伴うエッグビーターキック動作、他は大腿の内旋を伴わないエッグビーターキック動作であるという。しかし、アウトキックの後半で大腿部を強く内旋させると、大腿部と下腿部がほぼ水面に水平になる瞬間が観察でき、この動きは下肢の内側で水を下方に抑える抵抗面積を増すことになり、効率良いサポートベースを作ることにつながると考えられる。したがって、アウトキックの後半での大腿部の強い内旋は、エッグビーターキックの指導観点として用いることができよう。

さらに、アウトキックの前半の足部の底屈および強い内転の動きと、インキックの最後の局面での強い背屈が、エッグビーターキックスキルの高い選手にみられた特長であった。一方、エッグビーターキックスキルのやや低い選手はインキックの最後からアウトキックにかけての背屈が十分ではなかった。このことから、よりよいエッグビーターキックの技術は、足部の背屈の動作を意識し、足の裏で水を感じるようにキックすることが望まれる。また、エッグビーターキックスキルの高い選手には足部の背屈から底屈への動きと同時に内転が顕著にみられたことから、足部で水を練るような動きをしていることがわかった。この足部の動きはスカーリングの手の動きに酷似しており、揚力発揮に貢献していると推測された。Sanders (1999a) は一流水球選手が足首の背屈、底屈、内反、外反を的確に用いてピッチを増していることを示唆し、一流水球選手の足の動きが揚力を利用したスカーリングの動きを伴っていることを指摘した。本研究の結果、スキルの高い選手が足首を柔らかく用いて揚力を利用しているという点は Sanders の見解と一致した。その一方で、本研究ではスキルの高い選手とやや低い選手の間にキック速度の違いはみられなかった。それは、Sanders の研究は初級者と一流水球選手とを比較したものであったが、本研究は全対象者が日本代表選手で競技レベルがほぼ同じであったため速度において差が現れなかったと考えられる。

6.2 エッグビーターキックスキルと筋力および柔軟性との関連

【研究課題 3-2】

6.2.1 目的

研究課題 3-1：実験 5 の結果から，エッグビーターキックは膝を支点にした下腿の回転運動で，股関節屈曲位で脚を左右に開き，足部を柔らかく使うことが重要な技術指導観点であることが明らかとなった．先行研究においても股関節，足関節の柔軟性が重要であることが示唆されている（Sanders, 1999a, b; 本間と久野, 2001）．また，エッグビーターキック時に両腕を挙上すると 13 kg 以上の水上荷重負荷がかかるといわれており（本間, 2000a），姿勢を制御する力と推進力を発揮する股関節周辺と脚の筋力が必要と考えられる．そこで，本研究は，一流シンクロナイズドスイミング選手の脚および体幹の筋力とエッグビーターキックスキルとの関係，および柔軟性とエッグビーターキックスキルとの関係を検討することとした．

6.2.2 方法

(1) 被験者

被験者は，2007 年世界選手権銀メダリストの女子シンクロナイズドスイミング選手 10 名で，全員が 2008 年北京オリンピック日本代表候補選手であった．被験者 10 名の平均身長は 1.64 ± 0.04 m，平均体重は 54.5 ± 2.8 kg であった．

(2) エッグビーターキックスキルの評価

エッグビーターキックスキルの評価は，北京オリンピック代表選手第一次選考会および北京オリンピック候補選手対象スキル査定会で実施されたそれぞれのエッグビーターキックテストの得点を用いた．ひとつは，北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットの課題要素のひとつであるエッグビーターキックテストの得点（①EB 得点），他は，北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点（②高さ得点）とした．

北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットは，ルーティ

ン演技遂行に必要な推進技術やフィギュアを含む5課題から構成され，国際審判員6名によって5点満点1/2点併用で採点された．課題のうちの1つはエッグビーターキックスキルを評価するテストで，これは両腕を挙上し腕の動作をしながら12カウント前進するという課題であった．評価観点は高さ，存在感，安定性であった．この課題の得点をEB得点と呼ぶ．

北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会でのエッグビーターキックテストの課題内容は，両腕を挙上せず腕を水中に入れスカーリングを用いないで行うエッグビーターキック前進5 mであった．ナショナルコーチと国際審判員7名が5点満点1/2点併用で採点し，評価観点は高さであった．この課題の得点を高さ得点と呼ぶ．

(3) 測定項目

筋力

BIODEX System3 (Biodex Medical Systems, Inc) を用いて等速性の膝関節伸展屈曲筋力（角速度 60°/s, 180°/s），体幹部伸展屈曲筋力（角速度 60°/s, 120°/s）を測定した．なお，各測定値には体重あたりに換算した値を用いた．

柔軟性

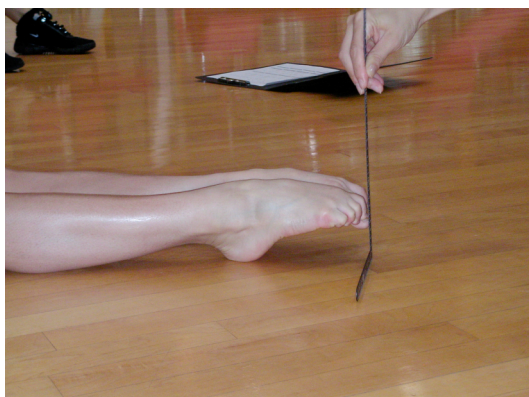
シンクロナイズドスイミング日本代表チームのコントロールテストとして定期的に実施している柔軟性テストのうち，股関節，膝関節，足関節の柔軟性5項目を測定した：つま先伸ばし，膝伸ばし，横開脚，台上スプリット（右左），水中スプリット（右左）．測定方法は Table 24 および Figure 59 に示した．角度測定は測定誤差が大きく，簡便に測定できないことから，シンクロナイズドスイミング日本代表チームでは巻き尺や定規で測定できる方法を用いている．

(4) 統計処理

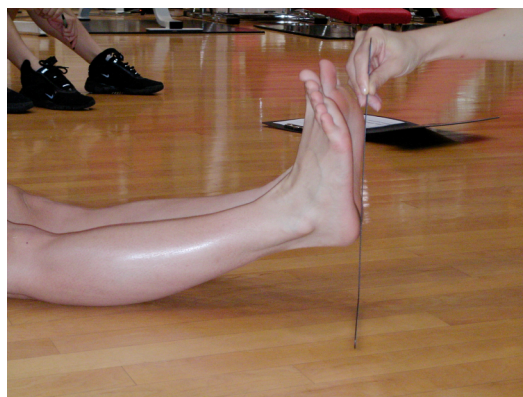
エッグビーターキックスキルのEB得点および高さ得点と，筋力および柔軟性の各項目との関係をみるために，スピアマンの順位相関係数を求めた．5%危険率を有意水準とした．

Table 24 Measurement of flexibility for synchronized swimmers

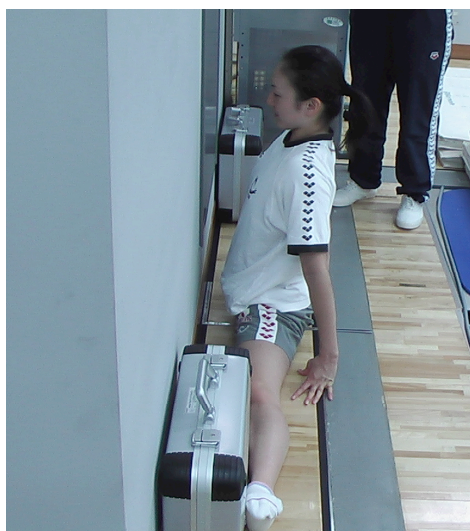
テスト	使用器具	方法	備考
つま先伸ばし 【足関節底屈】	T 定規 または 巻き尺	長座姿勢（背筋を直角に伸ばす）で、膝を曲げないようにつま先を伸ばす。つま先（親指）から床の最小距離を測定。	値が小さい方が優れている。 (Figure 59-1)
膝伸ばし 【膝関節過伸展】	T 定規 または 巻き尺	長座姿勢（背筋を直角に伸ばす）で、踵を閉じた状態で足をフレックス（ゲタ）にし膝を伸ばす。かかとから床の最小距離を測定。	(Figure 59-2)
横開脚 【股関節外転】	T 定規 または 巻き尺	壁に向かって座位で開脚させ、壁から股までの最小距離を測定。	壁を利用。ほぼ 180° 開く選手は、壁に物を置いて隙間を作って計測する。その場合、壁から股までの距離から、壁から物までの距離を引いた数値とする。(Figure 59-3)
台上スプリット (右前・左前) 【股関節屈曲伸展】	T 定規 または 巻き尺 足を乗せる台	前後に同じ高さの台（ビート板を重ねてもよい）を置き、前足の踵と後ろ足の膝を乗せる。床から股までの距離を測り、その値から台の高さを引いた数値を計測値とする。 測定姿勢： 両脚を前後に開き、股の真上に肩がのるようにする。股関節と両肩はできるだけスクエアに保ち、前後にずれないようにする。両腕は真上に伸ばす。	180°以上開く選手の値はマイナス値になる。(Figure 59-4)
水中スプリット (右前・左前) 【股関節屈曲伸展】	定規 ゴム	プールで計測する。スプリット姿勢になり、前後の足の親指にゴムのワッカ部をかける。股とゴムまでの最小距離を計測する。選手 2 人組みで計測する。	下着用のゴム約 1 m を用意し、両端に親指を入れる輪を作る。ゴムが水平に張るようにスプリット姿勢をとらせる（前後傾かないように）。 (Figure 59-5)



1 つま先伸ばし



2 膝伸ばし



3 横開脚



4 水中スプリット



5 台上スプリット

Figure 59 Flexibility test for synchronized swimmers.

6.2.3 結果

エッグビーターキックスキルの EB 得点と高さ得点との間に有意な相関関係が認められた ($r = 0.814$, $p < 0.01$).

エッグビーターキックスキルの得点 (EB 得点と高さ得点) および膝関節伸展・屈曲，体幹伸展・屈曲の等速性最大筋力の測定結果を Table 25 に，柔軟性の測定結果を Table 26 に示した。エッグビーターキックスキルの得点と筋力との相関係数を Table 27 に，エッグビーターキックスキルの得点と柔軟性との相関係数を Table 28 に示した。

EB 得点と高さ得点はいずれも，膝関節屈曲 (左) 60°/s および膝関節屈曲 (左) 180°/s との間に有意な相関関係が認められた。高さ得点は，体幹屈曲 60°/s との間に有意な相関関係が認められた。体重あたりの筋力においては，EB 得点は，体重あたり膝関節屈曲 (左) 60°/s，体重あたり膝関節屈曲 (左) 180°/s との間に，高さ得点は，体重あたり体幹屈曲 60°/s との間に有意な相関関係が認められた。

柔軟性はいずれの項目もエッグビーターキックスキルの得点と有意な相関関係が認められなかった。

6.2.4 考察

本研究の結果，股関節と足部の柔軟性はエッグビーターキックスキルと関係がみられなかった。個人間の差がエッグビーターキックスキルに反映しなかったのは，本研究の被験者全員が優れた柔軟性を有しており，エッグビーターキック動作に必要な柔軟性の程度は全員に備わっていたのだと考察できる。たとえば横開脚の平均値は 0.3 cm で，脚を横にほぼ 180°開くことができていたことから，エッグビーターキック動作に必要な股関節屈曲位での股関節外転の柔軟性は十分に備わっており，関係がみられなかったのだと考えられる。したがって，本研究結果から，エッグビーターキック動作に股関節および足部の柔軟性が必要ではないと結論づけることは早急すぎる。エッグビーターキックスキルと柔軟性の関連を検討するには，今後，競技レベルと柔軟性に差のある個人間を対象に研究を進める必要がある。

筋力については膝関節屈曲 (左) 60°/s・180°/s および体幹屈曲 60°/s と関係が認められた。研究課題 3-1 [実験 5] において，指導時には，膝が大転子より上まで引き上げられること，および踵を十分に臀部の近くまで引き上げることに留意することが重要であることが示唆さ

Table 25 Eggbeater kick skill scores and isokinetic peak torque of knee and trunk by using Biodex System 3 for Japanese elite synchronized swimmers

Swimmers	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	mean	SD
体重 (kg)	58.7	50.9	56.3	53.3	55.4	50.9	51.3	56.0	58.2	53.5	54.5	2.8
身長 (m)	1.72	1.60	1.66	1.61	1.63	1.60	1.59	1.65	1.68	1.63	1.64	0.04
エッグビーターキックスキル												
EB得点	4.000	3.750	3.500	3.500	3.250	3.000	3.000	3.000	2.875	2.875	3.275	0.374
高さ得点	3.43	3.50	3.86	3.43	3.14	3.00	2.86	2.93	3.07	2.14	3.14	0.44
膝関節 (Nm)												
伸展右 60°/s	141	115	122	127	147	103	-	95	131	107	120.9	16.5
伸展左 60°/s	134	113	114	148	150	99	90	110	119	119	119.6	18.5
屈曲右 60°/s	80	75	79	67	81	47	-	70	92	59	72.2	12.6
屈曲左 60°/s	78	67	73	68	71	52	51	60	58	65	64.3	8.5
伸展右 180°/s	96	96	82	89	109	72	-	67	90	75	86.2	12.7
伸展左 180°/s	95	94	80	101	107	70	66	71	91	84	85.9	13.3
屈曲右 180°/s	63	57	65	55	61	41	-	51	66	54	57.0	7.5
屈曲左 180°/s	60	58	60	55	59	42	45	45	46	53	52.3	6.8
体幹部 (Nm)												
伸展 60°/s	203	201	276	285	289	152	194	177	307	163	224.7	55.2
屈曲 60°/s	123	190	197	153	153	105	131	118	153	86	140.9	33.5
伸展 120°/s	186	238	245	222	260	154	183	164	250	180	208.2	37.0
屈曲 120°/s	106	121	163	114	128	103	100	119	100	106	116.0	18.1

SD: standard deviations.

EB得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたエッグビーターキックテストの得点. 評価観点は高さ, 存在感, 安定性.

高さ得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点

Table 26 Eggbeater kick skill scores and flexibility of hip and ankle joints for Japanese elite synchronized swimmers

Swimmers		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	mean	SD
体重	kg	58.7	50.9	56.3	53.3	55.4	50.9	51.3	56.0	58.2	53.5	54.5	2.8
身長	m	1.72	1.60	1.66	1.61	1.63	1.60	1.59	1.65	1.68	1.63	1.64	0.04
エッグビーターキックスキル													
EB得点		4.000	3.750	3.500	3.500	3.250	3.000	3.000	3.000	2.875	2.875	3.275	0.374
高さ得点		3.43	3.50	3.86	3.43	3.14	3.00	2.86	2.93	3.07	2.14	3.14	0.44
柔軟性													
横開脚	cm	-3.5	11.6	8.0	-7.0	-8.0	-7.0	0.5	6.3	8.0	-6.0	0.3	7.2
台上スプリット 右	cm	-17.0	-4.0	-8.0	-15.0	-17.0	-17.0	-8.0	-13.0	-1.0	-11.0	-11.1	5.4
左	cm	-14.0	-2.0	-5.5	-11.0	-18.0	-12.0	-4.0	-7.0	1.0	-8.0	-8.1	5.5
水中スプリット 右	cm	0.0	16.5	16.0	5.0	0.0	0.0	0.0	7.5	14.5	4.0	6.4	6.6
左	cm	2.0	23.0	17.0	13.4	0.0	6.0	9.5	15.0	22.0	11.0	11.9	7.4
つま先伸ばし	cm	1.8	3.8	3.7	4.0	2.3	3.0	2.8	4.0	0.5	2.0	2.8	1.1
膝伸ばし	cm	6.0	6.0	4.0	5.5	5.5	5.5	10.0	4.8	4.2	9.1	6.1	1.9

SD: standard deviations.

EB得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたエッグビーターキックテストの得点. 評価観点は高さ, 存在感, 安定性.

高さ得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点

Table 27 Correlations (r) between eggbeater kick skill scores and isokinetic peak torque of knee and trunk for Japanese elite synchronized swimmers

	EB得点	高さ得点
膝関節伸展屈曲力 (Nm)	r	r
伸展右 60°/s	0.354	0.452
伸展左 60°/s	0.272	0.354
屈曲右 60°/s	0.177	0.385
屈曲左 60°/s	0.735 *	0.717 *
伸展右 180°/s	0.508	0.542
伸展左 180°/s	0.475	0.511
屈曲右 180°/s	0.245	0.577
屈曲左 180°/s	0.711 *	0.749 *
体重あたり膝関節伸展屈曲筋力 (Nm/BW)		
伸展右 60°/s	0.473	0.527
伸展左 60°/s	0.290	0.347
屈曲右 60°/s	0.186	0.502
屈曲左 60°/s	0.673 *	0.608
伸展右 180°/s	0.574	0.628
伸展左 180°/s	0.463	0.529
屈曲右 180°/s	0.186	0.502
屈曲左 180°/s	0.673 *	0.608
体幹部伸展屈曲力 (Nm)		
伸展 60°/s	0.235	0.541
屈曲 60°/s	0.500	0.812 **
伸展 120°/s	0.265	0.596
屈曲 120°/s	0.540	0.615
体重あたり体幹部伸展屈曲力 (Nm/BW)		
伸展 60°/s	0.179	0.456
屈曲 60°/s	0.494	0.778 **
伸展 120°/s	0.161	0.523
屈曲 120°/s	0.426	0.535

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

EB得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたエッグビーターキックテストの得点。評価観点は高さ、存在感、安定性。

高さ得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点

Table 28 Correlations (r) between eggbeater kick skill scores and flexibility of ankle and hip joints for Japanese elite synchronized swimmers

		EB得点	高さ得点
柔軟性		r	r
横開脚		0.084	0.297
台上スプリット	右	-0.266	0.056
	左	-0.278	0.006
水中スプリット	右	0.096	0.467
	左	-0.056	0.298
つま先伸ばし		0.313	0.247
膝伸ばし		0.044	-0.411

EB得点： 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたエッグビーターキックテストの得点。評価観点は高さ，存在感，安定性。

高さ得点： 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点

れた．この動きの遂行のために低速域・中速域での股関節屈曲力と低速域での膝関節屈曲力が関連していると考えられる．ハムストリングスおよび腹直筋・大腰筋などの股関節屈曲に関わる筋群の強化が重要と示唆された．

先行研究において，エッグビーターキックスキルが脚の筋力および大腿部と腹部の筋横断面積とどのような関連があるかをみた結果，下肢の筋横断面積とは関連がみられなかったが，下肢の等速性筋力との間には相関関係が認められたことが報告されている（本間と久野，2001）．この研究では，膝関節屈曲・伸展，股関節外旋・内旋，股関節外転・内転の等速性最大筋力を測定し，そのうち有意な相関を示したのは中速域での股関節外転筋力と膝関節屈曲筋力であったことから，エッグビーターキックの強化には，中速域でのハムストリングス，縫工筋，中殿筋，小殿筋強化を重点的にトレーニングすることが有効であると示唆している．

本研究では測定装置のアタッチメントの関係上，股関節外転筋力を測定しなかった．そのため股関節外転筋力について先行研究結果との比較はできないが，膝関節屈曲筋力については同様の結果が得られたため，エッグビーターキックスキルと膝関節屈曲筋力には深い関連があると考えられる．さらに本研究では低速域での体幹屈曲筋力にも関係が認められたことから，体幹を屈曲させる筋群，すなわち腹直筋，腹斜筋，大腰筋，大腿直筋等の低速域でのトレーニングも重要であると考えられる．

先行研究ならびに本研究のいずれも，サイベックスまたはバイオデックスを用いた単関節の運動の筋力測定の結果であり，本来のシンクロナイズドスイミングでの出力特性とは異なるため，今後はエッグビーターキックのパワーを定量化する方法を開発する必要がある．しかし，筋機能評価装置を用いて定期的にシンクロナイズドスイミング選手の筋力をチェックすることは，トレーニング指標として有用であり，今後もコントロールテストとして継続する意義がある．

6.3 エッグビーターキックの動作特性と指導観点

【研究課題3のまとめ】

研究課題 3-1 [実験 5] では、6名のシンクロナイズドスイミング日本代表選手を対象に、総合的なパフォーマンス能力に対して相対的にエッグビーターキックスキルの高い選手と低い選手のエッグビーターキック動作を、3次元画像分析を用いて比較し、エッグビーターキックスキルの高い選手の特長からエッグビーターキックの技術的な指導観点を導き出した。

研究課題 3-2 では、一流シンクロナイズドスイミング選手の脚・体幹筋力とエッグビーターキックスキルとの関係、および柔軟性とエッグビーターキックスキルとの関係を検討した。

研究課題 3-1, 3-2 の結果、シンクロナイズドスイミングにおけるエッグビーターキックの動作特性および指導観点はつぎのようにまとめることができる。

エッグビーターキック動作は、膝を中心に下腿部を回転させる運動で、足裏に傾きをつけて主に足裏で推進力を生む技術である。エッグビーターキックスキルの高い選手は、膝と踵の位置が高く踵の上下動が少ないこと、水平方向へ蹴っていること、アウトキック時に大腿の内旋が強いこと、インキックからアウトキックに移行する内側移行局面で足部を強く背屈させ、アウトキックのときに足部を底屈させながら強く内転させていること、および大腿部を横に開いていること、が特長であった。膝と踵の両方を高く引き上げ、膝と踵を高く保ったまま横方向に足をキックすることで、ストローク面積を広げ揚力を発揮しやすい動きになっていると考えられた。また、足首を柔軟に使っていることから足裏で水を練るような感覚が重要であると示唆された。本研究結果より、エッグビーターキックスキルの高い選手のエッグビーターキック動作は「水平キックタイプ」、エッグビーターキックスキルのやや低い選手のエッグビーターキック動作は「鉛直キックタイプ」と分類できた。

エッグビーターキックの指導観点は、1) 膝と踵をできるだけ高く保つこと、2) 踵を臀部まで引き付け、横方向に蹴ること、3) 足部を柔らかく用いて足の裏で水を練るような感覚で蹴ること、であった。さらに、エッグビーターキックスキルは膝および体幹の屈曲筋力と関係がみられたことから、ハムストリングスおよび腹直筋・大腰筋などの股関節屈曲に関わる筋群を鍛えることが重要である。

第7章 総合討論

本研究の目的は、3次元画像分析によって一流シンクロナイズドスイミング選手のスカーリングとエッグビーターキックの動作特性を明らかにし、上位者の特長からより効率的な推進技術の指導観点を導き出すことであった。

本研究では3つの研究課題を設定した。研究課題1はフラットスカル、研究課題2はサポートスカル、研究課題3はエッグビーターキックを研究対象とし、画像分析実験を行った。すべての実験（実験1-5）は、水中から撮影したスカーリング動作またはエッグビーターキック動作を、3次元DLT法を用いて分析した。

研究課題1-1〔実験1〕では、オリンピック銀メダリスト4名（オリンピック群）と日本代表Bチームおよび日本代表ジュニアチームに属する選手6名（B代表群）の、フラットスカル動作を分析し、オリンピック群とB代表群との比較を行った。研究課題1-2〔実験2〕では、11名の日本代表選手を対象に、3種類の水平系基本姿勢におけるフラットスカル動作を比較した。研究課題2-1〔実験3〕では、オリンピック銀メダリスト4名（オリンピック群）と日本代表Bチームおよび日本代表ジュニアチームに属する選手6名（B代表群）の、サポートスカル動作を分析し、オリンピック群とB代表群との比較を行った。研究課題2-2〔実験4〕では、11名の日本代表選手を対象に、垂直姿勢保持能力の高い選手と低い選手のサポートスカル動作を比較した。研究課題3-1〔実験5〕では、6名の日本代表選手を対象に、総合的なパフォーマンス能力に対して相対的にエッグビーターキック能力の高い選手と低い選手のエッグビーターキック動作を比較した。

さらに、スカーリングとエッグビーターキック動作に関連の深い部位の等速性筋力および柔軟性を測定し、スキルとの相関関係を検討した。研究課題2-3では10名の日本代表選手を対象に、サポートスカルススキルと等速性の肩外旋内旋筋力および体組成との関連を、研究課題3-2ではエッグビーターキックスキルと等速性の膝・体幹伸展屈曲筋力および柔軟性との関連を検討した。

以下に、各研究課題で得られた結果を総合的に考察する。

(1) フラットスカル、サポートスカル、エッグビーターキックの動作特性

研究課題1および2の結果から、フラットスカルとサポートスカルは肘を支点とした前腕の回転運動であり、前腕の回内回外運動によって手のひらに約20-40°の傾きをもたせ、主に手部で推進力を生む技術であると考えられた。

指導書でいわれてきた上腕と肘を固定してスカルすること (DeNegri and McGowan, 2005; 本間, 1992; 金子ほか, 1979; 元好, 1986; Muir, 1981a, b; Nesbitt, 1991; Reeves, 1975; Synchro Canada, 2002; 財団法人日本水泳連盟, 2005; 図司, 1993) が本研究で実証された一方、横8の字型といわれてきたスカルパターン (DeNegri and McGowan, 2005; 本間, 1992; Lundholm and Ruggieri, 1976; 元好, 1990; Yates and Anderson, 1958; 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会, 2002; Zielinski, 2001c, 2005; 図司, 1990, 1993) は外側の円が大きい横8の字型または内側の尖ったしずく型のスカルパターンを描き、外側移行局面で下方に水を押す動きがみられた。このことから、ストローク局面では揚力成分の大きい推進力を発揮し、外側移行局面では抗力成分の大きい推進力を発生させていると考えられた。

いくつかの指導書によると (Lundholm and Ruggieri, 1979; 金子ほか, 1979; 図司, 1984, 1990, 1993), サポートスカルは肘を90°に曲げるとされているが、肘は上腕の動きに連動して100-145°に曲げ伸ばし、前腕を常に水平に保っていることがわかった。さらにZielinski (2001c) はフラットスカルでは肘が外を向くのは間違ったポジションで、肘は下方(プールの底)を向くのが正しいポジションであると述べているが、本研究結果では肘を高い位置に保ち外に張っていた。肘を外に張り高く保つことは、支持ベースを広げて身体を安定させ、前腕と手を一体にして水平面上でスカル動作を行うことを容易にする。したがって、より効率的に揚力を利用できる動きにつながっていると考えられる。

フラットスカルにおいて、荷重負荷の小さいときには手首を柔らかく使って手だけで推進力を得ようとしていたが、脚を水上に挙上し荷重負荷が増すと、前腕と手を一体にしてスカルテンポを増し、より大きな揚力を得ようとする動きがみられた。

サポートスカルスキルは肩外旋筋群と関連が深いことが明らかとなった。これはサポートスカルが、肘を屈曲し前腕の大きな回外を伴って肩を外旋するという非日常的で特異な動作であるため、個人間における内旋筋力の差よりも外旋筋力の差に深い関係がみられたのだと推察される。このことより、肩外旋筋群を意識してトレーニングを行うこと、および姿勢を安定させてスカル動作を行うために肩甲骨周辺の筋をバランスよく鍛えることが重要と考え

られる。

研究課題3の結果より、エッグビーターキックは、膝を中心に下腿部を回転させる運動で、足裏に傾きをつけて主に足裏で推進力を生む技術であると考えられた。

エッグビーターキックスキルの高い選手は、膝と踵の位置が高く踵の上下動が少ないこと、水平方向へ蹴っていること、アウトキック時に大腿の内旋が強いこと、インキックからアウトキックに移行する内側移行局面で足部を強く背屈させ、アウトキックのときに足部を底屈させながら強く内転させていること、および大腿部を横に開いていることが特長であった。膝と踵の両方を高く引き上げ水平方向に足をキックすることは、ストローク面積を大きくし、揚力を効率よく利用できる動きにつながっていると考えられる。また、足首を柔軟に使っていることから足裏をスカーリングの手のひらと同じようにとらえ、足裏で水を練るような感覚が重要であると思われた。そして、エッグビーターキックスキルの高い者のエッグビーターキック動作は足を水平方向に動かし、揚力を効率よく生もうとする‘水平キックタイプ’、エッグビーターキックスキルの低い者のエッグビーターキック動作は足を上下動させて蹴る‘鉛直キックタイプ’と分類できた。

さらに、エッグビーターキックの遂行には膝屈筋群と股関節屈筋群の関与が大きいことが明らかとなった。これは膝と踵を高く保ち、踵を臀部近くに引き上げる動作が関係していると考えられ、エッグビーターキックスキルの向上にはハムストリングスおよび腹直筋・大腰筋などの股関節屈曲に関わる筋群の強化が重要と示唆される。

以上のように、フラットスカル、サポートスカル、エッグビーターキックのいずれの動作においても、スキルの高い者の動作は揚力を効率よく利用しようとした動きになっていることが示唆され、これは先行研究の見解（Alexander and Taylor C, 2005; Hall, 1996; 本間ほか, 1999; 松井ほか, 1984; Rybuyakova *et al.*, 1991; Sanders, 1999a, 1999b, 2005）と一致した。シンクロナイズドスイミングは水面上の身体の高さだけでなく、姿勢の安定性・正確性、動作のなめらかさ・美しさがパフォーマンスとして総合評価される。それゆえ、一流選手はおのずと揚力成分の大きい推進力を発揮しようとしているのだと考えられる。

また、いずれの動作も、そのストローク面（もっとも内側と外側を結んだ線の面）は水平ではなく、サポートスカルで約 15-20°、エッグビーターキックで約 45°の傾きがみられ、これによって左右の横方向の力が拮抗し、安定した上向きの力を生んでいるのではないかと示唆される。

(2) フラットスカル、サポートスカル、エッグビーターキックの指導観点

本研究で得られたフラットスカル、サポートスカルの共通の指導観点は、上腕と肘を固定し前腕と手をユニットにして前腕部を水平に保って動かすこと、インからアウトへのかき出しを水平方向にスカルすることであった。フラットスカルでは肘を外に張り高い位置を保つこと、サポートスカルでは、終始手のひらを底に向けた状態で水平方向にスカルすることおよび身体の正面から横まで 1/4 円を描くようにスカルすることが重要な指導観点と示唆された。

本研究で得られたエッグビーターキックの指導観点は、膝を腰と同じかそれより高く保つこと、踵を臀部近くに引き付け横方向へ蹴ること、脚を横に開き姿勢を安定させること、および足部を柔らかく用いて足の裏で水を練るような感覚で蹴ることであった。

第8章 結論

本研究は、3次元画像分析によって一流シンクロナイズドスイミング選手のスカーリングとエッグビーターキックの動作特性を明らかにし、上位者の特長からより効率的な推進技術の指導観点を導き出すことを目的とした。本研究結果から、フラットスカル、サポートスカルおよびエッグビーターキックのいずれにおいても、上位者は揚力成分を効率よく発揮できる動作をしていたことが示唆された。さらに、本研究によって、これまで経験や理論的背景から通説となっていたスカーリングやエッグビーターキックの技術解説とは異なる指導観点がいくつか示され、それぞれのスキル向上のための実践的示唆を得ることができた。

以下は各動作の動作特性と指導観点について本研究から得られた知見である。

(1) スカーリングの動作特性

- ・フラットスカルとサポートスカルは肘を支点とした前腕の回転運動であり、前腕の回内・回外運動によって手のひらに傾きをもたせ、主に手部で推進力を生む技術であると考えられた。
- ・フラットスカルとサポートスカルにおいては、指導書でいわれてきた上腕と肘を固定してスカルすることが本研究で実証された。一方、従来、横8の字型といわれてきたスカルパターンは外側の円が大きい横8の字型または内側の尖ったしずく型のスカルパターンを描き、外側移行局面で下方に水を押す動きがみられた。このことより、ストローク局面では揚力成分の大きい推進力を発揮し、外側移行局面では抗力成分の大きい推進力を発生させていると考えられた。

(2) スカーリングの指導観点

- ・フラットスカルとサポートスカルに共通した指導観点は、上腕と肘を固定し、前腕と手をユニットにして前腕部を水平に保って動かすこと、およびインからアウトへのかき出しを水平方向にすることであった。フラットスカルでは肘を外に張り高い位置を保つこと、サ

ポートスカルは前腕を水平に保つこと、および正面からほぼ真横までスカルすることが重要な指導観点であると示唆された。

- ・ サポートスカルスキルの習得には、肩外旋筋群を意識しながらトレーニングすること、および体幹を安定させてスカル動作を行うために肩甲骨周辺および大胸筋、広背筋などの体幹と腕をつなぐ筋群を鍛えることが重要であると示唆された。

(3) エッグビーターキックの動作特性

- ・ エッグビーターキックは、膝を中心に下腿部を回転させる運動で、足裏に傾きをつけて主に足裏で推進力を生む技術であると考えられた。
- ・ エッグビーターキック動作は‘水平キックタイプ’と‘鉛直キックタイプ’に分類され、水平キックタイプは効率よく揚力を利用できていると考えられた。

(4) エッグビーターキックの指導観点

- ・ エッグビーターキックは、膝を腰と同じかそれより高く保つこと、踵を臀部近くに引き付け横方向へ蹴ること、脚を横に開き姿勢を安定させること、および足部を柔らかく用いて足の裏で水を練るような感覚で蹴ることが重要な指導観点であると示唆された。
- ・ エッグビーターキックスキルの習得には、ハムストリングスおよび腹直筋・大腰筋などの股関節屈曲に関わる筋群を鍛えることが重要と示唆された。

第9章 今後の課題

先行研究でいわれているように本研究の動作分析結果からもスカーリングとエッグビーターキックは揚力成分の大きい推進力を生む技術であると考えられた。しかしながら、どのように推進力を発揮しているのかという発生機序を3次元画像分析から明らかにすることには限界がある。本研究で得られたキネマティクス変数を、コンピュータシミュレーションや模型実験等の手法を用いて流体力学的に分析することで、まだ明らかにされていない非定常状態でのスカーリングやエッグビーターキックの推進力発生メカニズムの解明に役立てることができるのではないかと期待できる。また、スキルレベルの高い選手の動作が効率よく力を発揮しているのかどうかを検証するために、スキルレベルの差によって力の発揮がどのように異なるのかを明らかにすることも必要である。

第3章「3.3 研究の限界」で述べたように、本研究は一流選手を対象としたため、経験を積んだ選手には本研究で得られた指導観点を応用することができるが、初心者から初級者への指導上の示唆は別の視点で考える必要があると思われる。エージグループ選手への発育に応じた指導法、習熟レベルの異なる選手への段階的指導法、技術習得のための効率的なトレーニング法に関する研究が必要である。そのためには、中級者と一流選手の比較、初級者と中級者との比較、さらには縦断的に中級から上級へとスキルが改善していく過程を分析する必要がある。

本研究では、スカーリングとエッグビーターキックのスキルの優劣の判別基準に、スカーリングとエッグビーターキックがもっとも直接的に反映されている演技中の技術に対する審判員の評価を用いた。審判員は主に高さ、安定性、姿勢の正しさを採点を行うが、今後、審判員の評価結果とスキルとの関連を客観的に裏付ける研究が必要である。高さに関しては水面上に出ている身体の高さの検討、安定性に関しては動作中の動揺性の検討、姿勢の正しさに関しては身体重心・浮心と推進力発揮部との関係を検討する必要がある。

文 献

- Adamson, J., Currie, S., Lamont, S., and Ziegler, K. (1985) Synchro Plus revised. The Ontario Amateur Synchronized Swimming Association (Ed.) The Ontario Amateur Synchronized Swimming Association Inc: Ontario.
- 阿江通良 (1991) 画像データによる動作解析法. Japanese Journal of Sports Sciences, 10(3) : 196-203.
- Alexander, M. and Taylor, C. (2005) The Technique of the Eggbeater Kick. Coaches' information service, http://coachesinfo.com/category/water_polo/356/ (2005 年 9 月 30 日)
- 荒木昭好 (1974) 図解水球のゲーム. 成美堂 : 東京.
- Babb, K. (1989) The Ballet Leg Scull. Synchro, XXVII(2): 21.
- Bean, D. (2006) Judging Synchronized Swimming Routines. In: FINA (Ed.) FINA Synchronised Swimming Manual For Judges, Coaches and Referees (revised fourth edition). FINA Permanent Office: Lausanne, pp. 117-120.
- Berger, M.A.M., Hollander, A.P., and Groot, G.D. (1999) Determination propulsive force in front crawl swimming: A comparison of two methods. Journal of Sports Science, 17: 97-105.
- Clarys, J.P. (1975) Analysis of the eggbeater and breaststroke kicks in water polo. In: Clarys, J.P. and Lewillie, L. (Eds.) Swimming II. Proceedings of the International symposium on biomechanics in swimming. University Park Press: Baltimore, 241-246.
- Davis, C. (1986) Tips on ballet legs. Synchro, XXIV(3): 20.
- DeNegri, L. V. and McGowan, J. (2005) Understanding Sculling Mechanics. In: FINA (Ed.), Synchronised Swimming Coaches Manual, Sammary of presentations from previous World Synchronised Swimming Seminars. FINA: Lausanne, pp. 5-9.
- Ellington, C.P. (1995) Unsteady aerodynamic of insect flight. In: Ellington, C.P. and Pedley, T.J. (Eds.), Biological Fluid Dynamics. Society of Experimental Biology, Cambridge, 626-630.

Federation Internationale de Natation [FINA] (2005) FINA handbook 2005-2009. FINA: Lausanne.

Federation Internationale de Natation [FINA] (2006) FINA Synchronised Swimming Manual For Judges, Coaches and Referees. FINA Permanent Office: Lausanne.

Federation Internationale de Natation [FINA] (2007) FINA Manual For Synchronised Swimming Judges, Coaches and Referees. FINA Office: Lausanne.

Feltner, M.E. and Nelson, S.T. (1996) Three-dimensional kinematics of the throwing arm during the penalty throw in water polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 12: 359-382.

Forbes, M.S. (1989) Eggbeater Kick, stationary. In: *United States Synchronized Swimming (Ed.) Coaching synchronized swimming effectively second edition*. Leisure Press: Champaign, pp.74-75.

Francis, P.R. and Smith, K.W. (1982) A preliminary investigation of the support scull in synchronized swimming using a video motion analysis system. In: *proceedings of the International Symposium of Biomechanics in Sports*. Research Centre for Sports; Academic Publishers: Del Mar, 401-407.

Gray, J. (1993) *Coaching Synchronised swimming Figure Transitions*. Standard Studio: Berkshire.

Gundling, B.O. and White, J.E. (1988) *The Alphabet of Aquatic Movement: Basic Positions, Movements, and Terms*. Creative Synchronized Swimming. Leisure Press: Champaign, pp. 7-11.

Hall, B. (1985) The Mechanics of Sculling. *Synchro*, XXIII(5): 14-17.

Hall, S.J. (1996) Support scull kinematics in elite synchronized swimmers. In: *XIII International symposium for biomechanics in sport: proceedings*. Lakehead University: Thunder Bay, 44-47.

原朗, 柳等, 酒井達郎, 清原伸彦, 当麻成人, 石井喜八 (1988) 立泳ぎのときに発揮される浮き上がる力の測定 -測定装置の試作-. *日本体育大学紀要*, 17(2) : 115-122.

本間正信, 本間三和子, 萬久博敏, 山村千晶 (1999) 一流シンクロナイズドスイミング選手の巻き足動作の運動学的分析. 第 14 回日本バイオメカニクス学会大会論文集. 287-292.

本間正信, 高松潤二, 窪康之, 伊藤浩志, 本間三和子, 上田千穂子, 市川浩, 三輪飛寛, 清水潤,

- 伊藤道代, 田原亮二, 山崎小百合, 小島勝徳 (2002) 第9回世界水泳選手権 (福岡/2001) シンクロルーティン分析. 水泳水中運動科学, 5 : 21-26.
- 本間三和子 (1992) 水泳における手 -シンクロナイズドスイミング-. Japanese Journal of Sports Sciences, 11(8) : 457-462.
- Homma, M. (1994) The Components and the time of 'face in' of the routines in synchronized swimming. In: Mutoh, Y. and Richardson, A.B. (Eds.) Medicine and Science in Aquatic Sports, Med. Sport Sci.. Karger: Basel, 39: 149-154.
- 本間三和子 (1997) シンクロナイズドスイミングにおけるフリールーティンの演技構成に関する研究 -1996 アトランタオリンピック出場チームにおける構成要素の配置とフェイスインタイムの比率から-. 筑波大学運動学研究, 13 : 9-20.
- 本間三和子 (2000a) シンクロナイズドスイミングの各種動作における水上荷重負荷. 筑波大学運動学研究, 16 : 13-22.
- 本間三和子 (2000b) ルーティン演技の構成要素. 本間三和子のシンクロを科学する, スイミングマガジン, 3 : 75.
- 本間三和子 (2002) シンクロナイズドスイミングは競技スポーツとしてどうあるべきか. バイオメカニクス研究, 6 (2) : 156-165.
- 本間三和子 (2003a) シンクロ選手のコツ・動き方の意識に関するアンケート調査結果. 阿江通良編 平成14年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.Ⅲジュニア期の効果的スポーツ指導法の確立に関する基礎的研究 -第3報-. pp. 157-167.
- 本間三和子 (2003b) ルーティン分析活動報告. 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会科学技術部編 2001-2002年度活動報告及び研究成果報告. pp. 17-39.
- 本間三和子 (2005) シンクロナイズドスイミングのトレーニング. 財団法人日本水泳連盟編 水泳コーチ教本第2版. 大修館書店: 東京, pp. 398-418.
- 本間三和子 (2006) シンクロのノーティカルチャート -シンクロは何処へ向かうのか-. 水泳水中運動科学, 8 : 21-28.

本間三和子, 伊藤浩志 (2005) シンクロナイズドスイミングのテクニカルルーティン規定要素の水上高とその技術的評価. スポーツ方法学研究, 18(1) : 85-100.

本間三和子, 久野譜也 (2001) 一流シンクロナイズドスイミング選手の立ち泳ぎ能力と筋力、筋形態との関連. 体力科学, 50(6) : 929.

本間三和子, 高松潤二, 伊藤浩志, 田中千晶, 上田千穂子, 鷺津加奈子, 清水理絵 (2007) シンクロナイズドスイミングにおけるリフト動作のバイオメカニクス的研究. 日本オリンピック委員会／日本コカ・コーラ スポーツ科学基金 (アクエリアス基金) 2006 年度報告書. 財団法人日本オリンピック委員会, pp. 62-66.

Homma, M., Ito, K., Kubo, Y., Takamatsu, J., Ichikawa, H., and Homma, M. (2003) Routine analysis of synchronized swimming at the 9th FINA World championships 2001. In: Chatard, J.C. (Ed.) Biomechanics and medicine in swimming IX. University of Saint-Etienne: Saint-Etienne, pp. 529-533.

池上康男 (1983) 写真撮影による運動の 3 次元解析法. Japanese Journal of Sports Sciences. 2(3) : 163-170.

池上康男, 桜井伸二, 矢部京之助 (1991) DLT 法. Japanese Journal of Sports Sciences, 10(3) : 191-195.

伊藤慎一郎 (2005) シンクロナイズドスイミングに最適な手のひらの形. 2005 年日本水泳・水中運動学会年次大会論集. 90-93.

Ito, S. (2006) Fundamental fluid dynamic research on configuration of the hand palm in synchronized swimming. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F., and Marques, A. (Eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(2): 45-48.

岩波書店辞典編集部 (1999) 広辞苑 第五版. 東京 : 岩波書店.

Jones, F.L. and Lindeman, J.I. (1975) Synchronized Swimming: Developing Fundamental Skills. The Components of Synchronized Swimming. PRENTICE-HALL: Englewood Cliffs.

鎌田依利 (2006) PIV 評価法を用いたスカーリング時の推進メカニズムの検討. 平成 17 年度筑

波大学大学院修士課程体育研究科修士論文.

Kamata, E., Miwa, T., Matsuuchi, K., Shintani, H., and Nomura, T. (2006) Analysis of sculling propulsion mechanism using two-components particle image velocimetry. In: Vilas-Boas, J.P., Alves, F., and Marques, A. (Eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. Portuguese Journal of Sport Sciences, 6(2): 50-52.

Kartashov, I. (2005) Classification of Sculls in Synchro. In: FINA (Ed.) Synchronised Swimming Coaches Manual, Summary of presentations from previous World Synchronised Swimming Seminars. pp. 1-4.

金子正子, 中島佐智子, 市橋晴江, 宮崎三つ保, 加瀬みか (1979) 財団法人日本水泳連盟シンクロ普及委員会編 シンクロナイズドスイミング初心者指導の手引 (決定版).

Lauder, M.A. and Dabnichki, P. (2005) Estimating propulsive forces -sink or swim? Journal of Biomechanics, 38: 1984-1990.

Lundholm, J. and Ruggieri, M.J. (1976) Introduction to synchronized swimming. Burgess Publishing Company: Minneapolis.

松井敦典, 小林一敏, 土居陽治郎 (1984) 立ち泳ぎにおける下肢の動作と推力発生メカニズムに関する研究. 東京体育学研究, 11 : 59-62.

Matsuuchi, K., Miwa, T., Nomura, T., Sakakibara, J., Shintani, H., and Ungerechts, B.E. (2004) Unsteady flow measurement around a human hand in swimming using PIV. In: Abstract of 9th annual congress of the European College of Sport Science. Clermont-Ferrand, France, p. 274.

McGowan, J.S. (2006) An Introduction to Judging Free Routines. In: FINA (Ed.) FINA Synchronised Swimming Manual For Judges, Coaches and Referees, revised fourth edition, FINA Permanent Office: Lausanne, pp. 111-116.

宮地力 (1998) Mathematica によるネットワークプログラミング. 岩波書店: 東京.

Miyaji, C. and Abbot, P. (2001) Movie Digitizer. MatheLink: Network programming with Mathematica. Cambridge Univ. Press: Cambridge, pp. 106-121.

- 元好三和子 (1983) Billy McKeller 氏インタビュー資料 (聞き手: 元好三和子, 場所: 京都ホテル, 1983 年 12 月)
- 元好三和子 (1986) サポートスカルテクニック及び日本選手団遠征における一考察. *Synchro Technique*. SYNCHRO JAPAN, 45 : 2-5.
- 元好三和子 (1987) フィギュアのテクニックメモ. *Synchro Technique*. SYNCHRO JAPAN, 50: 7.
- 元好三和子 (1990) シンクロ入門. 日本野外教育研究会編 水泳の指導. 杏林書院: 東京, pp. 184-197.
- Muir, D. (1981a) Sculling and Skills for body positions. *Synchro*, XIX(4): 12-13.
- Muir, D. (1981b) Sculling for basic positions. *Synchro Canada*, 11: 11-12.
- 長野哲也, 大畠襄 (1982) シンクロナイズド・スイミング選手にみられた尺骨疲労骨折. 東日本スポーツ医学会誌.
- Nesbitt, S. (1991) Basic Sculling, Transitions and Drills. *Synchro*, XXIX(2): 23-25.
- 大本洋嗣 (1996) 巻足 (立ち泳ぎ). 基本のスキル. 基礎から実戦まで水球マニュアル. ベースボール・マガジン社: 東京, pp. 12-13.
- Preston, M.S. (1983) Synchronized Swimming is for me. Lerner Publications Company: Minneapolis, pp. 1-46.
- Rackham, G. (1968) Synchronized Swimming. Faber and Faber: London.
- Reeves, M.A. (1975) Basic Sculling Techniques for Competitive Synchro Swimmers. *Synchro Canada*, 5: 4-8.
- Rybuyakova, T., Lesgaft, P.F., and Pybyakova, T.V. (1991) Analysis of the Vertical Sculling Technique. *SYNCHRO*, XXIX(3): 18-21.
- 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之介, 岡本 敦, 豊島進太郎 (1990) 野球の投手の投動作の 3 次元動作解析. 体育学研究, 35 : 143-156.

- Sanders, R.H. (1999a) Analysis of the eggbeater kick used to maintain height in water polo. *Journal of Applied Biomechanics*, 15: 284-291.
- Sanders, R.H. (1999b) Improving performance in the eggbeater kick. In: Frank H.F., Eric P.C., and Pak-Kwong C. (Eds.) *The XIIIth FINA world sports medicine congress*. Peacock Printing Press: HongKong, pp. 253-258.
- Sanders, R.H. (2005) Strength, Flexibility and Timing in the Eggbeater Kick. Coaches' information service, http://coachesinfo.com/category/water_polo/5/ (2005 年 9 月 30 日)
- Shapiro, R. (1978) Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. *Research Quarterly*, 49(2): 197-205.
- Schleihauf, R.E. (1979) A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In: Terauds, J. and Bedingfield, E.W. (Eds.) *International Series on Sport Sciences (Vol.8) Swimming III*. University Park Press: Baltimore, pp. 70-109.
- Scientific Committee of the Japan Swimming Federation (Ed.) (2001) *Routine Analysis in Synchronised Swimming -Biomechanical Analysis of Routines at the 9th FINA World Swimming Championships FUKUOKA 2001*. The Scientific Committee of the Japan Swimming Federation, pp. 1-69.
- Shapiro, R. (1978) Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. *Research Quarterly*, 49(2): 197-205.
- Synchro Canada (2002) *Star Program Manual*.
- 上野徳太郎 (1956) 背泳. 図解組み泳ぎ. 万有出版: 東京, pp. 47-52.
- Wang, Z.J. (2000) Two Dimensional Mechanism for Insect Hovering. *Physical review letters*, 85: 2216-2219.
- Winter, D.A. (2005) Smoothing and fitting of data. *Biomechanics and motor control of human movement* 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc., 42-53.

柳等, 酒井達郎, 斉藤好史, 当麻成人, 原朗, 清原伸彦 (1994) 水球選手の無酸素性パワーと立ち泳ぎの浮上力. 第12回バイオメカニクス学会論文集, 236-240.

Yanagi, H., Amano, K., Sakai, T., and Hara, A. (1995) Vertical Force Exerted during Eggbeater Kick in Water Polo. XVth Congress of the International Society of Biomechanics, Jyveaskylea, Finland, 1016-1017.

Yates, F. and Anderson, T.W. (1958) Synchronized Swimming second edition. The Roland Press Company: New York.

財団法人日本水泳連盟編 (1983) 新訂水泳指導教本. 大修館書店: 東京.

財団法人日本水泳連盟 (2005) シンクロバッジテスト制度シンクロバッジテスト実施の手引き.

財団法人日本水泳連盟 (2006) シンクロ競技規則 (2006).

財団法人日本水泳連盟 (2006) シンクロナイズドスイミング ジャッジの手引き (2006).

財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会編 (2002) エッグビーター. 水中トレーニング. シンクロナイズドスイミング競技者育成プログラム 一貫指導教書. pp. 45-64.

財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会科学技術部 (2002) 日本代表選手選考会課題選定に関する分析. 財団法人日本水泳連盟シンクロ強化委員会 (2002年6月) 資料.

財団法人日本水泳連盟シンクロナショナルコーチ (2005) ナショナル A チーム課題. 財団法人日本水泳連盟シンクロ強化委員会 (2005年12月) 資料.

Zielinski, D. (1997) The eye of the artist: A scientific approach to synchronized swimming. The Duke Zielinski Corporation and ESYNCHRO: Walnut Creek.

Zielinski, D. (2001a) Routine fundamentals: A simple approach to routine success. Volume 1. ESYNCHRO: Walnut Creek.

Zielinski, D. (2001b) Figure fundamentals: A simple approach to routine success. Volume 2. ESYNCHRO: Walnut Creek.

- Zielinski, D. (2001c) Synchro as simple as 1-2-3. The Duke Zielinski Corporation and ESYNCHRO: Walnut Creek.
- Zielinski, D. (2005) Synchronizing the mind and body. In: FINA (Ed.) Synchronised Swimming Coaches Manual, Summary of presentations from previous World Synchronised Swimming Seminars, pp. 25-33.
- Zinzen, E., Antonis, J., Cabri, J., Serneels, P., and Clarys, J.P. (1992) Synchro-swimming: an EMG-study of the arm muscles during the scull movement in the "single ballet leg alternate." In: MacLaren, D., Reilly, T., and Lees, A. (Eds.) Biomechanics and medicine in swimming. Swimming Science VI. E & FN Spon: London, 117-122.
- 図司早江子 (1984) シンクロの技術. 財団法人日本水泳連盟シンクロナイズド・スイミング委員会・科学技術委員会編 シンクロナイズド・スイミング. 大修館書店: 東京, pp. 26-114.
- 図司早江子 (1990) シンクロの基本技術. 財団法人日本水泳連盟シンクロ委員会編 シンクロナイズドスイミング初心者指導の手引 (改訂版), pp.14-59.
- 図司早江子 (1993) シンクロのコーチング. 財団法人日本水泳連盟編 水泳コーチ教本. 大修館書店: 東京, pp. 215-248.
- 図司早江子 (2005) シンクロナイズドスイミングのコーチング. 財団法人日本水泳連盟編 水泳コーチ教本第2版. 大修館書店: 東京, pp. 419-438.