

# 韓国の河川水資源の特性と水田開発

2017 年 1 月

李 相 潤

# 韓国の河川水資源の特性と水田開発

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

国際地縁技術開発科学専攻

博士（生物資源工学）学位論文

李 相 潤

## 要 旨

モンスーンアジアの多くの国々の主食はコメであり、コメは多数の人々に食糧を供給する上で有利な作物であるため、水田水稲作農業は、古くから社会経済的および政治的に極めて重要であった。そのため、現在の水田灌漑が形成されてきた開発の過程は、地理学、歴史学などさまざまな学文分野で関心をもたれている。

また、水田水稲作は、広大な土地と大量の水を使用するため、安定的な水の供給また安定的な収穫を得るためには、水量を予想できない不安定な天水だけではなく灌漑が必須である。その際、広大な面積に対する多量の灌漑用水の持続的な供給は、河川を水源とすることが一般的であるため、その利用可能な河川水資源は、水田の開発や分布を制約する大きな要因となる。

現在、日本の主要な水田灌漑地域は、河川の自流を用いる「河川灌漑」であるのに対し、韓国は河川上流に大規模な貯水池施設を作って灌漑を行う「貯水池主体灌漑」が多い点で日本と大きく異なる。これが、韓国と日本との、灌漑の水源と用いられている河川水資源の特性の違いによるものと考えられる。

韓国の河川水資源については、水文学、河川工学の分野で河川の基底流量、乾期の最小流量についての研究があるものの、いずれも渇水が厳しい冬期の渇水流量を求めたもので、用水需要が大きい水田灌漑期間の水利用の視点からの河川流量の評価ではない。また、韓国近代の水田開発については、地理学、歴史学など多くの学門分野で検討されてはいるものの、いずれも水源となる河川水資源の評価はおこなっておらず、開発された水田が利水上どのような特性を持つのかは明らかにされていない。そのように、韓国では河川水資源の利用の視点から河川流量と水田開発を評価した研究はない。

本研究は、地形的気候的に日本と比較的よく似た韓国の主要な河川を対象に、それらが水田灌漑利用の視点からみてどのような流量の特性を持つのかを日本の主要河川と比較分析して検討した。また、その結果を踏まえ、韓国近代前期の河川自流利用段階における、実際に開発されてきた河川灌漑田の利水安全度を求め、その結果から、韓国近代前期における河川灌漑田等の、開発過程の利水上の特徴を日本と比較して評価した。

その結果、次のことが明らかになった。

1) 年非超過確率 1/10 で評価した韓国の河川は水田灌漑期間（4～9 月）の渇水時比流量が  $0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  程度で、日本の約 1/10 と極めて小さい。その要因は、韓国では日本と比べて非灌漑期である 10～3 月の降水量が極めて少なく、山地流域の地質が影響している可能性があるという推定される。

2) 水田灌漑期間中に河川から一定流量を供給するために必要なダムの計画貯水池容量は、日本の河川の数倍以上大きい。それは、河川の平均流量が小さいことだけでなく、ダムからの補給期間が長いという流量特性による。

3) 韓国は日本と比べ、河川の自流で安定的に開発できる水田面積は小さく、またダムで用水を補給する場合も、より規模の大きいダムを建設する必要があるという不利な条件を持つ。こうした河川水資源の制約が、韓国のこれまでの水田開発を強く制約してきたと考えられる。

4) 水田灌漑期間中（7～9 月）の夏期渇水時比流量は、年非超過確率 1/10～9/10 に対して  $0.17 \sim 1.51 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  程度と、日本の主要河川に比べきわめて小さい。

5) 漢江を除き水不足の年発生確率が 30～90 %で利水安全度が低く、韓国近代前期では夏期渇水時流量をほぼ使いきって灌漑田が開発されていた。

6) 漢江流域の河川灌漑田の利水安全度が高いのは、他河川より夏期渇水時流量が大きいのにに対して、治水上、地理上等の問題で開発できる水田が限られていたことが原因として推察された。

7) 韓国では、日本と違って利水安全度の低い灌漑田が多く、また天水田が広く分布していたため、干魃によるコメの減収被害がしばしばあった。

8) 利水安全度の低い灌漑田と天水田が多かった背景要因として、コメの需要に対して河川の安定的な渇水時流量の総量が日本と比べて極めて少ないことが推察された。

## 目 次

第 1 章 緒論 .....	1
1.1 研究の背景 .....	1
1.2 研究の目的 .....	2
1.3 論文の構成 .....	3
第 2 章 韓国農業の自然的環境と既往研究 .....	5
2.1 韓国農業の自然的環境 .....	5
2.2 既往研究 .....	9
第 3 章 水田灌漑用水利用からみた韓国の河川の流量特性 .....	13
3.1 目的 .....	13
3.2 対象とした河川と用いた資料 .....	14
3.3 河川自流の特性 .....	17
3.3.1 主要河川の流量 .....	17
3.3.2 主要河川の渇水時流量 .....	17
3.4 必要な貯水池容量でみた河川流量の変動特性 .....	23
3.4.1 必要な貯水池容量の求め方 .....	26
3.4.2 結果 .....	27
3.5 考察 .....	33
3.5.1 河川流量の特性が水田開発に及ぼす影響 .....	33
3.5.2 渇水時流量が小さいことの要因 .....	33
3.6 本章のまとめ .....	34
第 4 章 韓国近代前期における河川灌漑田の利水安全度 .....	36
4.1 目的 .....	36
4.2 研究対象流域・時代と用いた資料 .....	37

4.2.1 研究対象とした流域と流量データ .....	37
4.2.2 文献資料の分析 .....	41
4.3 利水安全度を求める方法 .....	43
4.3.1 利水安全度を求めるモデルと基本的な考え方 .....	43
4.3.2 モデル適用のための方策と諸条件の検討 .....	45
4.4 結果と考察 .....	49
4.4.1 文献から求めた韓国近代前期の水田面積とその補正 .....	49
4.4.2 各流域の夏期渇水時流量 .....	52
4.4.3 河川灌漑田の利水安全度 .....	53
4.4.4 近代前期の韓国の水田の特徴～日本との違い .....	59
4.5 本章のまとめ .....	60
4.6 (補論) 田植えを考慮した場合の、河川灌漑田の利水安全度 .....	61
4.6.1 モデル適用のための方策と諸条件の検討 .....	61
4.6.2 結果 .....	63
第5章 総合考察と総括 .....	66
5.1 総合考察 .....	66
5.2 総括 .....	69
引用文献 .....	71
謝辞 .....	77

## 表 目 次

表 3-1	検討対象ダムの概要 .....	16
表 3-2	対象流域の降水量と渇水時流量 .....	20
表 3-3	0.2 m <sup>3</sup> /s/100 km <sup>2</sup> 以下の流量（20 日移動平均）発生確率 .....	22
表 3-4	貯水池が各年独立して用水供給できる利用レベルの最大値 .....	28
表 4-1	研究対象流域とダムの概要 .....	40
表 4-2	各文献資料の水田分類とデータ期間 .....	42
表 4-3	30 mm 以下の 20 日降水量の発生頻度（7～9 月） .....	48
表 4-4	各流域の水源地別の水田面積 .....	51
表 4-5	30 mm 以下の 20 日降水量の発生頻度（5～9 月） .....	64

## 図 目 次

図 1-1	論文の構成 .....	4
図 2-1	標高分析図 .....	6
図 2-2	水田分布図 .....	7
図 2-3	年度別降水量の変化 .....	8
図 2-4	月別降水量（最大，平均，最小） .....	8
図 3-1	検討対象ダムの位置 .....	15
図 3-2	分析地点の月別平均流量 .....	17

図 3-3	河川自 流の 渴水時 流量 ( $q_0$ ) と 水田 開発 面積 の 関係 .....	18
図 3-4	渴水時 流量 ( $q_0$ ) を 超える 一定 供給 量 ( $q$ ) と 水田 開発 面積 の 関係 .....	24
図 3-5	河川 流量 と 一定 供給 量 $q$ , 必要 な 貯水 池 容量 $V$ の 関係 .....	25
図 3-6	4 月 1 日 まで 満水 し ない 場合 の, 必要 な 貯水 池 容量 $V$ .....	26
図 3-7	一定 供給 量 $q$ と 必要 な 貯水 池 容量 $V$ の 関係 .....	29
図 3-8	利用 レベル $\lambda$ と 貯水 池 規模 $n$ の 関係 .....	30
図 3-9	必要 な 貯水 池 容量 にお ける 実 補給 期間 $T$ と 補給 量 ( $q - q_0$ ) の 関係 .....	32
図 3-10	利用 レベル $\lambda$ と $m$ の 関係 .....	32
図 4-1	灌 漑 施設 別 の 水田 面積 の 変化 .....	37
図 4-2	研究 対象 流域 と ダム の 位置 .....	39
図 4-3	河川 灌 漑 可能 な 水田 面積 を 求める 流域 の モデル .....	43
図 4-4	対象 河川 流域 の 夏 期 渴水 時 流量 .....	52
図 4-5	各 河川 流域 の 灌 漑 田 の 利水 安全 度 .....	56
図 4-6	2014 年 と 1918 年 の 水田 分布 図 .....	57
図 4-7	有効 雨量 を 考慮 し た 場合, 各 河川 流域 の 灌 漑 田 の 利水 安全 度 .....	58
図 4-8	対象 河川 流域 の 渴水 時 流量 .....	62
図 4-9	田 植 え 期 を 考慮 し た 場合, 各 河川 流域 の 灌 漑 田 の 利水 安全 度 .....	65



## 第1章 緒論

### 1.1 研究の背景

コメはモンスーンアジア等の多くの国々の主食として重要な作物である。また、水田が広がる地域は人口稠密地域と重なっていて、コメは多数の人々に食糧を供給する上で有利な作物でもある（International Rice Research Institute<sup>(10)</sup>, 2007）。また、イネは、土地利用型作物で拡大な土地と大量の水を使用するため、水田水稲作は社会経済、政治に及ぼす影響が大きい。そのため、現在の水田開発の展開過程は、地理学、歴史学など多くの研究分野で関心をもたれている。

一方、水田水稲作は、大量の水を使っているため、安定的な水供給かつ安定的なコメの収穫を得るには、水量を予想できない不安定な自然の降雨だけではなく、安定的な水供給かつ安定的なコメの収穫を得るには、河川水等を利用した灌漑が必修になる。そのため、利用可能な河川水資源の量は水田の開発や分布を制約する大きな要因になる。

現在、日本の主要な水田灌漑地域は、河川の自流を用いる「河川灌漑」であるのに対し、韓国は河川上流に大規模な貯水池施設を作って灌漑する「貯水池主体灌漑」が多い点で日本と大きく異なる。これは、韓国と日本との、灌漑の水源と用いられている河川水資源の特性の違いによるものと考えられる。

その場合、河川水の量は時々刻々変動するため、何をもって河川水資源と水田開発との関係性を評価するかが問題となる。これについて新沢<sup>(59)</sup>（1962）は、十分な平野が広がる地域では、水田の開発は水田灌漑期間の河川自流の渇水時の流量に規定されることを理論的に指摘した。また、岡本<sup>(52)</sup>（2001）は、日本では近代までに、現在の利水計画基準から見ると 1/10 確率年の渇水流量を超える流量まで使って水田を開発していたとした。このように日本では、河川水資源の利用の視点から河川流量と水田開発を評価した研究がある。

しかし、韓国の河川水資源については、水文学、河川工学の分野で河川の基底流量、乾期の最小流量等を検討されてはいるものの、いずれも渇水が厳しい冬期の渇

水流量を求めたもので、用水需要が大きい水田灌漑期間の用水利用の視点から河川水資源の特性を評価した研究はない。また、韓国近代の水田開発については、地理学、歴史学など多くの学門分野で検討されてはいるものの、いずれも水源となる河川水資源の評価はおこなっておらず、そのため、開発された水田が利水上どのような特性を持つのかについては明らかにされていない。このように、韓国では河川水資源の利用の視点から河川流量と水田開発を評価した研究はない。

## 1.2 研究の目的

本研究は、地形的気候的に日本と比較的よく似た韓国の主要な河川を対象に、それらが水田灌漑利用の視点からみてどのような流量の特性を持つのかを日本の主要河川と比較分析して検討する。具体的には、韓国の主要な河川を対象に、1) 大規模なダムがない時代・地域で水田開発面積を規定すると考えられる河川の渇水時流量（比流量）の大きさとその発生時期、2) 河川水資源の利用率をさらに向上させるのに必要となるダム貯水池容量の規模、それをもたらす韓国河川の流量特性を明らかにする。

また、その河川流量の特徴をもとにして、韓国近代前期の河川自流利用段階における、実際の開発されてきた河川灌漑田の利水安全度をもとめ、その結果から、韓国近代前期における河川灌漑田等の、開発過程の利水上の特徴を日本と比較して検討する。

なお、韓国の近代前期を分析対象としたのは、1) 韓国は日本と同じ温帯湿潤気候にあつて、水田水稲作は年 1 回で、他のモンスーンアジア諸国よりも自然条件が似通っており、日本と比較検討しやすい、2) 韓国の近代は日本が統監府を置いていた大韓帝国時代と、その後に統合されていた日本統治時代（1910～1945 年、韓国では「日帝時代」等と呼称）であり、戦前戦時の朝鮮米の移出入もあつて、日本の水田農業土木史としても検討の意義がある、3) 日本でも、日本統治時代の朝鮮米価や米需要等の社会情勢、日本政府および朝鮮総督府の種々の政策、河川流域の地形条件、日本統治時代以前の水田開発の進捗状況等の背景を詳細かつ総合的に分析した研究はあるものの、韓国河川の利水上の特性を考慮した研究はない。4) 韓国では近年、

工業化都市化の進展と環境保護への意識の高まりから、河川水資源の再配分が課題となっていて（Choi<sup>(2)</sup>, 2007）、かつて日本での新沢<sup>(59)</sup>（1962）の研究がそうであったように、先行する過去の灌漑田の利水安全度の理解は、今後の韓国の河川水利調整による水資源再配分制度を検討する上でも有用と考えられる、といった理由からである。

### 1.3 論文の構成

本論文は、5章から構成されており、水田灌漑用水量の視点からみた韓国の河川の流量特性を日本と比較分析し、その結果を踏まえ、韓国近代前期の河川自流を利用する段階における河川灌漑田等の、水利上の特性を検討している（図 1-1）。

はじめに、第1章（本章）では、研究の背景、研究の目的、論文の構成を示す。

第2章では、韓国農業の自然的環境と韓国の河川水資源や水田の開発過程に関する既往研究を整理する。

第3章では、韓国の主要な河川を対象に、水田灌漑期間（4～9月）の河川自流の渇水時比流量の大きさとその発生時期、河川から一定流量を供給するため必要な貯水池容量の規模を求め、それをもたらす韓国河川の流量特性を日本と比較して明らかにする。

第4章では、韓国近代前期における主要河川流域に開発されてきた河川灌漑田の利水安全度を求め、日本と比較してその開発過程の特性を考察する。

最後に、第5章では、以上の結果および既往研究に基づいて、総合考察と前章までに明らかにした内容を総括する。

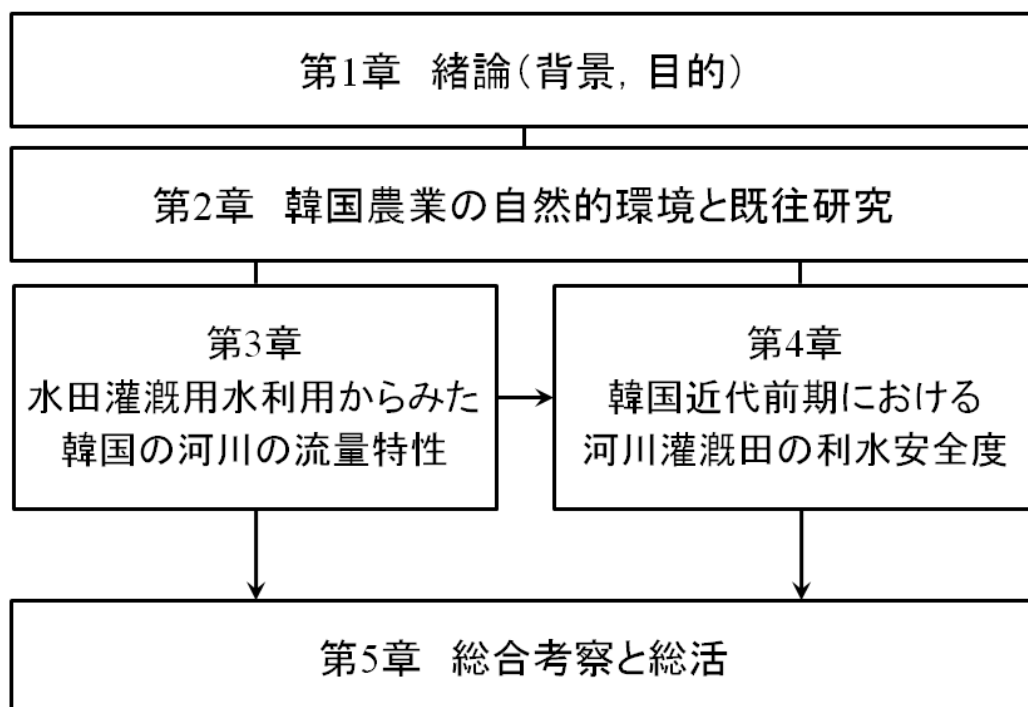


図 1-1 論文の構成

## 第2章 韓国農業の自然的環境と既往研究

### 2.1 韓国農業の自然的環境

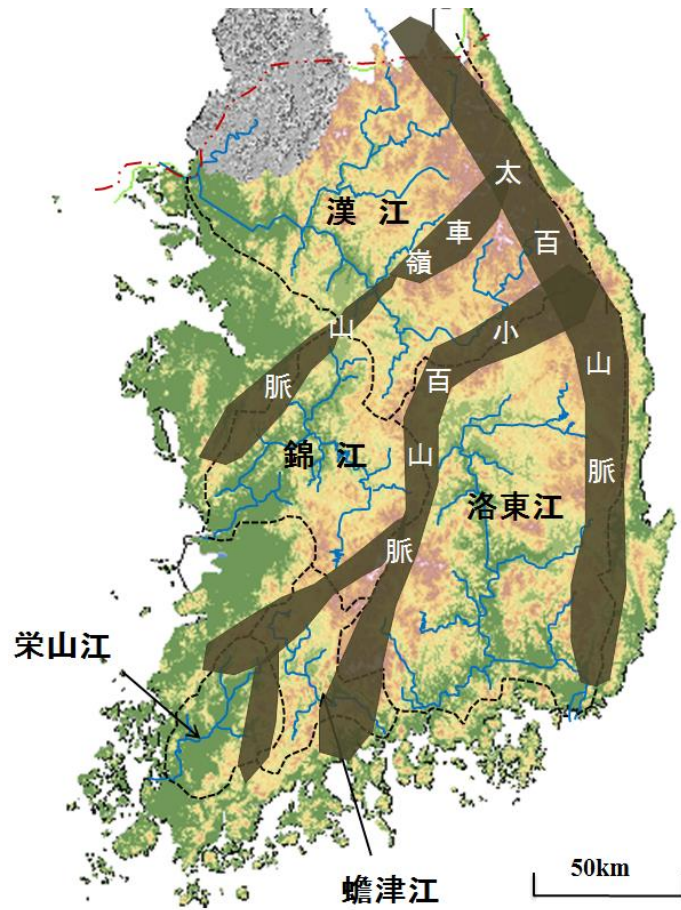
本論に入るに先立って、まず韓国の地理、気候、河川など韓国農業をめぐる自然的環境を把握しておく必要がある。

韓国はアジア大陸の東端に突き出している半島であり、現在（2007 年度基準）の国土面積は 10 万 km<sup>2</sup> 程度でこれは日本の約 1/4 に相当する。地形的には、そう高くないが山が多く（国土の約 65 %は山地）、標高はそのため農地面積は国土の 18 %にとどまっている。そのうち、韓国の主食であるコメを作付けしている水田面積は農地面積の約 60 %（10 万 ha）を占めている。

山地は国土の東側に偏って分布しており、漢江流域の北から東海岸に沿って太白山脈が洛東江流域の南まで長く縦断しており、太白山脈の途中から南南西方向に車嶺山脈と小白山脈がそれぞれ錦江流域と蟾津江・榮山江流域まで走っている。そのため、韓国の平野は西部と南部に広がっている（図 2-1）。

河川は太白山脈が東側に偏っていることから、大きな河川は流路が長く西海または南海に流入し、その河床の勾配も緩やかであるため、西海に流入する漢江、錦江、榮山江と南海に流入する洛東江の下流付近は平野が広がっており、有数の水田地帯となっている。その反面、東海に流入する河川は一般的にその流路が短く勾配が急であることから、広い水田地帯はない（図 2-2）。

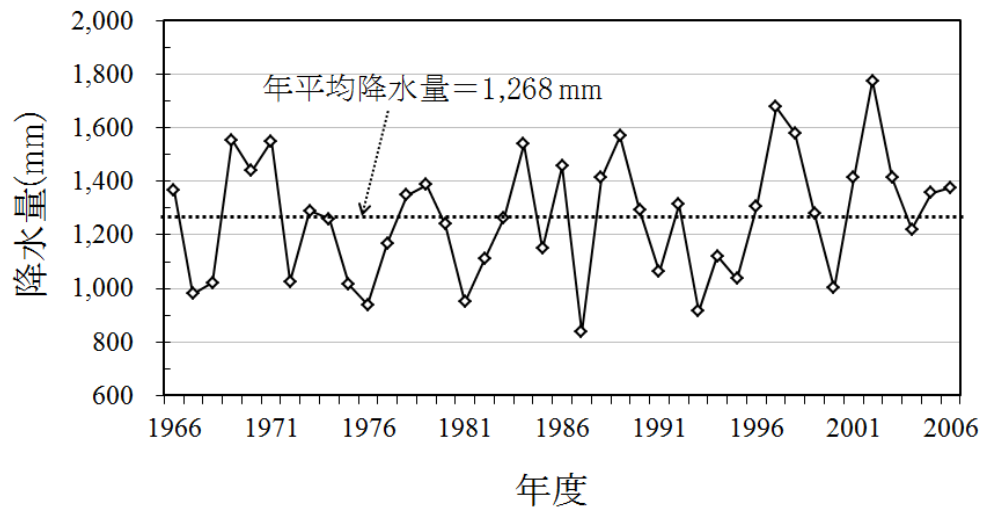
韓国の年平均降水量は日本と比べて 500 mm 程度小さいが、世界平均と比べると大きい（約 1.3 倍）。国土の三面が海に囲まれているため、水蒸気を多く含んだ海洋からの季節風が絶えず陸地にふきこみ、東側に偏っている山脈により上昇気流を起こしやすいという自然条件のために南東部（蟾津江下流、洛東江下流など）に多量の降水がもたらされる。年平均降水量の地域的偏差はあるものの、1,000～1,300 mm の範囲になる。



(注)：(韓国国土交通部<sup>(18)</sup>，2016)より作成

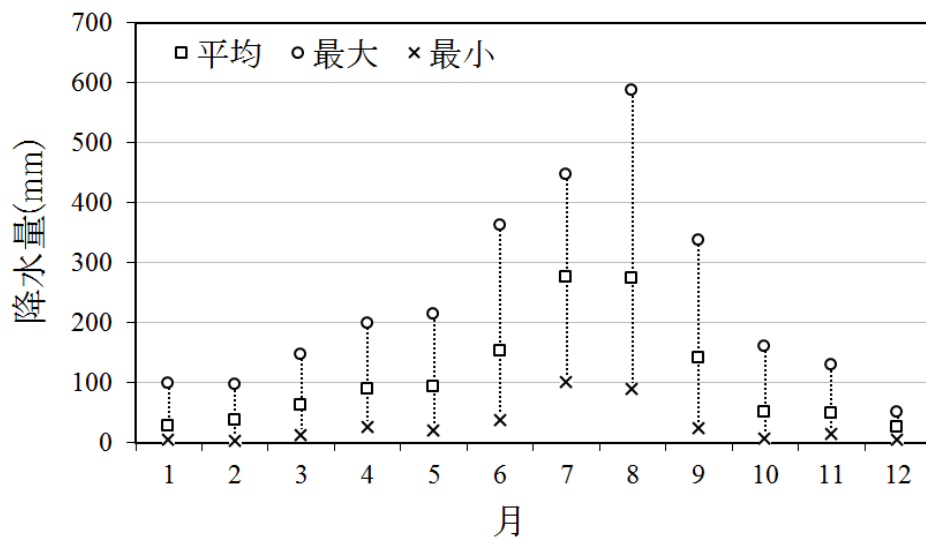
図 2-1 標高分析図





(注)：(韓国国土海洋部漢江洪水統制所<sup>(16)</sup>，2009) より作成

図 2-3 年度別降水量の変化



(注)：(韓国国土海洋部漢江洪水統制所<sup>(16)</sup>，2009) より作成

図 2-4 月別降水量 (最大, 平均, 最小)



## 2.2 既往研究

### 2.2.1 河川流量の評価

水田灌漑利用からみた河川流量の評価方法については、新沢<sup>(59)</sup> (1962) は、日本の灌漑水田の開発面積が、十分な平野が広がる地域では、水源とする河川の渇水流量によって制約されてきたことを示しており、河川の自流量を灌漑に用いる水利用段階での、水田灌漑における渇水時流量の重要性を指摘している。また、ダムが開発されるようになった段階では、袁・佐藤<sup>(67, 68)</sup> (1996a; 1996b) が、菅原<sup>(64)</sup> (1968) の研究を発展させて、必要な貯水池容量という指標を開発しており、日本の主要な河川をこれらの手法によって分析している。

ここで、菅原<sup>(64)</sup> (1968) は、河川水資源の利用の視点からはどの程度の大きさの貯水池を建設すれば年間を通して安定した取水ができるかが重要な問題であると指摘した。そして、ある河川から一定流量を取水するために必要な貯水池容量の大きさを河川の流量特性を表す指標として提唱しており、必要な貯水池の最大値で日本の河川流量の特性を評価した。しかし、この研究は、水田灌漑利用の視点からのものではない。

これについて袁・佐藤<sup>(67, 68)</sup> (1996a; 1996b) は、河川水資源の利用の立場からみた日本の水不足の一番厳しい時期が水田用水の需要が大きい夏期であること、また、河川から一定流量を取水するために必要な各年の貯水池容量の大きさは、確率的に変動することを指摘している。そして、菅原<sup>(64)</sup> (1968) の研究を発展させて、水田灌漑利用の視点から水田灌漑のために「一定流量を供給するのに必要な計画貯水池容量」を求めることで河川の流量特性を評価する手法を開発し、日本の主要な河川について分析をおこなった。

一方、韓国の河川については、水田灌漑の視点から河川流量を定量的に検討した研究は見受けられない。水文学や河川工学の分野では、韓国五大河川（漢江、洛東江、錦江、蟾津江、荣山江）流域を対象に、河川の渇水期間の流量に関係する基底

流量を求めた Park<sup>(53, 54)</sup> (1996a; 1996b), 錦江や洛東江を対象に 30 年以上の乾期 (10 月～翌年 3 月) の基底流量を求めた Won et al.<sup>(66)</sup> (2000), Kim and Won<sup>(25)</sup> (2001), 錦江の乾期の最小流量を実測に基づき算定した Lee et al.<sup>(34)</sup> (2010) 等があるものの、いずれも渇水が厳しい冬期 (非灌漑期) の渇水流量を求めたもので、水田灌漑利用の視点からの河川流量の評価ではない。

低水流出自体に関する研究は、数多くなされているが、その主な対象は、流出量減衰時における減衰カーブ (減衰定数で代表される) およびその流域地質との関係であり、工学的応用としては、水資源利用のための短期的な流量予測が主になっている (Smakhtin<sup>(57)</sup>, 2001)。しかし、本研究で扱うのは、全体としての低水期間の中で生じる降雨流出の影響を含めたハイドログラフ全体の状況である。このようなハイドログラフから貯水池必要量を計算する方法としては、古くからマスカーブ法が知られているが、それは計算手順であり、代表的な水資源工学の教科書にも、それ以上の解析に適用された例は見当たらない (Lynsley and Franzini<sup>(41)</sup>, 1979; Mays<sup>(44)</sup>, 2001)。

また、韓国の河川について地理学や歴史学の分野では、金<sup>(27)</sup> (1990) は、韓国では降水量の季節的偏差が大きく、河川の流域面積が比較的狭く、中・上流地域に山地が多いため、河川の最大と最小の流量差が日本と比較して大きいと示した。

宮嶋ら<sup>(47)</sup> (1992) は、韓国の河川は平水時と洪水時の流量差が大きく、河川水を水田灌漑の水源として利用するのが難しいため、植民地時代の水田開発には貯水池の築造が必要であったと分析しているものの、その背景である河川流量の特性について総合的な検討はされていない。

## 2.2.2 水田開発史

まず、日本の灌漑稲作農業については、上記のように新沢<sup>(59)</sup> (1962) が、河川の自流量を灌漑に用いる水利用段階での、水田灌漑における渇水時流量の重要性を指摘している。岡本<sup>(52)</sup> (2001) は、日本では近代までに、現在の利水計画基準から見ると 1/10 確率年の渇水流量を超える流量まで使って水田を開発していたと論じた。

また、佐藤<sup>(56)</sup> (2016) は、日本の水田はすでに近世末期に、反復利用等の徹底に

よって渇水時には用水ロスがほとんどなかったと想定しても、渇水流量で灌漑できる面積を超えて水田が開発されていたことを試算して示した。このように日本の水田開発については、河川水資源の利用の視点から開発されている灌漑田の特性を分析した研究がある。

一方、韓国では、近世の朝鮮の灌漑稲作農業については、農業史・経済史分野の研究で、李<sup>(39)</sup>（1961）は、朝鮮時代における水利事業の歴史的な変遷を政治中心の視点で分析しており、王権が強かった 1600～1700 年代は、灌漑施設の発展期として、この灌漑施設の整備とともに水田面積が急速に増えたことを示した。

金<sup>(30)</sup>（1965）は、朝鮮後期（1598～1897）に灌漑施設の開発とともに直播から移植へと栽培方式が変わり収量が増加したことを論じており、朝鮮後期の生産力の発展の背景を説明するため朝鮮前期の水利政策とこれによる灌漑施設の量的な増加を強調している。

宮嶋<sup>(46)</sup>（1983）は、朝鮮後期の農業における収穫量の増加を灌漑施設の発展による田植法の全国的な補給を要因として指摘しており、朝鮮後期の河川流域ごとの水田開発の違いについて、道レベル（日本の県に相当する行政区画）の統計データ等を用いて灌漑施設（主に溜池）の分布を分析している。

李<sup>(37)</sup>（1986）は、朝鮮前期（1392～1598）の古農書をもとに、当時の水田面積の時代・地域別の分布と水利施設の展開過程を分析している。また、当時の水利施設と降雨特徴の関係について、朝鮮の 3 月から 5 月までの春干ばつは、播種作業と播種された種子の発芽に影響を与えて収穫量の減少や失農などの深刻な被害を起こすため、堰や溜池（同「堤堰」）などの水利施設の必要性は、他の国に比べて切実であると分析した。また、その反面 7 月に集中する降雨は、当時の水利施設の崩壊や埋没、洪水による水田の浸水などの問題をもたらすため、水利施設の崩壊や埋没の可能性も他の国に比べて高かったと示しており、このような朝鮮降雨特徴と水利施設の関係により、朝鮮前期に集中された水利施設の発達、朝鮮後期の田植の補給による生産力の増加とはつながるとは言えないと論じた。

近代、日本統治時代の朝鮮の水田開発と灌漑施設整備の展開過程については、旗手<sup>(8)</sup>（1979）は、米騒動や米価の変動、豊作不作といった当時の社会情勢を踏まえ

て、その大要を記述している。

松本<sup>(43)</sup> (1991) および宮嶋・松本ら<sup>(47)</sup> (1992) は、日本統治時代の灌漑開発の核となる水利組合による灌漑事業について、当時の統計資料をもとに、灌漑地区の規模・水利施設・年代等を詳細かつ総合的に分析し、灌漑施設の地理的分布およびその展開過程について論述している。

また、許<sup>(9)</sup> (2016) は、日本統治時代前期の統計資料の水田面積と灌漑施設整備面積について、その信頼性を詳細に分析・評価し、日本統治時代初期の灌漑水田開発面積が過大評価されていることを論じている。

地理学の分野では、Kim<sup>(28)</sup> (1969) は、朝鮮後期は水田農業が一般化されており、山麓地形の水田地域では直播、低湿地形の水田地域は田植えが中心栽培方法で固着されていたと示した。また、この水田開発の展開過程の違いは地理的環境の違いによるものと指摘した。

Kim<sup>(24)</sup> (1991) は、朝鮮時代から存在する堰、溜池といった伝統灌漑施設の分布と 1700～1900 年代の灌漑施設の増加を郡単位（日本の市に相当する行政区画）で求め、その地理的地形的特性を検討した。その結果、溜池の分布は水田水稲作地帯とほとんど一致する傾向があること、堰は統計上の不備を考慮しても内陸の山間部地域に密集して分布していることを示した。

また、Jung<sup>(11)</sup> (2008) は、朝鮮後期の古文献をもとに、溜池の分布と気候、地形、人口規模、水田面積、農法等の関係を分析した。その結果、自然的条件からみると、水田水稲作に良好な地形条件を持った平野地帯と降水量が相対的に少ない地域で溜池が密集して分布しており、社会経済的の条件では、人口密度が高く水田面積が広く、田植え中心の地域に溜池が密集して分布していることを指摘した。

木下<sup>(31)</sup> (2014) は、韓国の主要河川の流域ごとの水利施設（貯水池、堰）と水田面積の分布を求め、流域ごとの違いを河川の流況や河床勾配等の特性から分析した。

以上は、いずれも韓国の水田開発について有用な知見を与えるものではあるが、日本の研究のような水源となる河川水資源の評価は行っておらず、そのため、開発された水田が水利上どのような特性を持つのかは明らかにされていない。多くは、天水田が多い、溜池灌漑が多い、堰灌漑が多いといった記述にとどまっている。

### 第3章 水田灌漑用水利用からみた韓国の河川流量の特性

#### 3.1 目的

河川流量と水田灌漑の関係をみる場合は、河川の流量は時々刻々と変化、変動するため、どのような指標を用いて河川流量を評価するのが問題となる。これについて新沢<sup>(59)</sup>（1962）は、日本の灌漑水田の開発面積が、水源とする河川の渇水時流量によって制約されてきたことを示し、水田灌漑において河川の自流量を灌漑に用いる段階（ダムなしの段階）での、渇水時流量の重要性を指摘している。

また、ダムが開発されるようになった段階では、袁・佐藤<sup>(67, 68)</sup>（1996a ; 1996b）が科学技術庁資源調査会<sup>(13)</sup>（1965）、菅原<sup>(64)</sup>（1968）の研究を発展させて、水田灌漑のために「一定流量を供給するのに必要な計画貯水池容量」を求めることで河川の流量特性を評価する手法を開発し、日本の主要な河川について分析をおこなっている。

このように日本の河川については、水田灌漑期間中の河川水資源利用の視点から河川の流量特性を評価した研究がある。しかし、前章（第2章）の既往研究で述べたように、韓国では、そのような河川水資源の利用の視点から河川の流量特性を分析した研究はない。

そのため、本章では、韓国の主要な河川を対象に、それらが水田灌漑利用の視点からみてどのような流量の特性を持つのかを明らかにする。具体的には、韓国の主要な河川を対象に、1) 大規模なダムがない時代・地域で水田開発面積を規定すると考えられる河川の渇水時比流量の大きさとその発生時期、2) 河川水資源の利用率をさらに向上させるのに必要となるダム貯水池容量の規模、それをもたらす韓国河川の流量特性を明らかにする。

### 3.2 研究対象とする河川と用いた資料

研究対象河川は、韓国の「五大河川」(漢江(ハングン)、錦江(クムガン)、洛東江(ナクトンガン)、蟾津江(ソムジンガン)、榮山江(ヨンサンガン))のうちの4つの河川(漢江、錦江、洛東江、蟾津江、榮山江)とした。また、熊川川(ウンチョンチョン)は、後述する3つの選定条件を満たすデータが得られるため、特に加えた(図 3-1)。

この4つの河川流域は、流域面積では国土面積の65%、水田面積では2006年現在、全国108万haのうち48%(約52万ha)を占めていることから、韓国の水田灌漑地域の河川流量について全体像を検討するのに適切と考えた。

分析には、河川のある地点からの日流量データが必要になる。この流量データは、韓国国土交通部<sup>(18)</sup>(2016)のWEBサイト「国家水資源管理総合情報システム」(Water Management Information System, 以下、WAMIS)から入手した。このデータベースでは、韓国の主要な河川流域に建設されている85箇所のダムについて、流域面積、流入量、取水量、放流量といったデータを公開している。そこで、ここから前記の河川について、1)取水地点より上流に他のダムや大規模な用水利用がない、2)10年以上の流量データが取得できる、3)流域面積がほぼ100 km<sup>2</sup>以上ある、という3つの条件を満たす14箇所のダム(流域)を選定し、その流入量データを用いて分析をおこなった。表 3-1 に、対象とするダムの概要を示す。

なお、このデータベースでは、ダム貯水池への流入量は、貯水位の増減と放流量から計算して求めているが(韓国国土交通部<sup>(18)</sup>, 2016)、その際、貯水池湖面からの蒸発量を考慮していないため、実際の流入量と比較して過小になる。そこで、本研究では、ダムの貯水池満水面積×蒸発量(日最大4 mm(韓国建設交通部漢江洪水統制所<sup>(15)</sup>, 2007))を日々の流入量に加えた。また、日流入量が小さい場合には、日流量データの誤差が大きくなる。そこで、以下では特にことわらない限り、前後2日間を含めた5日間の移動平均値を日流量として用いた。また、流域間の流量特性を比較するため、以下、流量はすべて流域面積100 km<sup>2</sup>あたりの比流量で示した。

また、韓国と日本の河川を比較するため、袁・佐藤<sup>(67, 68)</sup>(1996a; 1996b)が分析

した日本の河川の日比流量および流量特性の分析結果も用いた。用いたのは東北（石淵ダム，北上川），北陸（笹生川ダム，九頭竜川），南九州（綾北ダム，大淀川）の河川で，中国・四国地方については前記の 3 つの条件を満たすダムとして土師ダムを選定し，国土交通省<sup>(33)</sup>（2016）の WEB サイト「水文水質データベース」の流入量データを用いて加えた（表 3-1）。

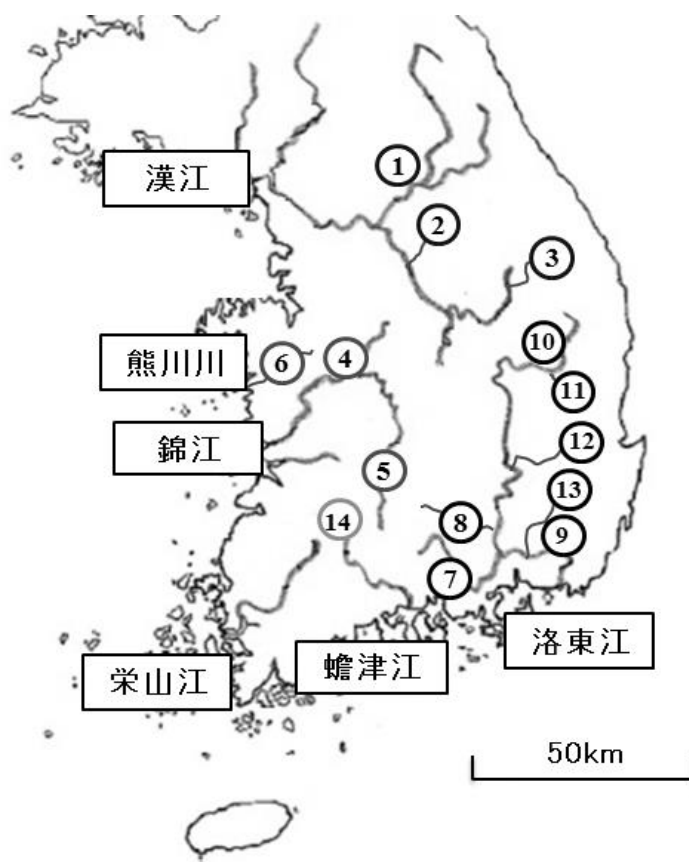


図 3-1 検討対象ダムの位置

表 3-1 検討対象ダムの概要

ダム 番号	ダム名	流域面積 km <sup>2</sup>	平均流量 m <sup>3</sup> /s/100km <sup>2</sup>	資料年数
1	ソヤンガン	2,703	2.6	40
2	フェンソン	209	3.0	13
3	カンドン	125	2.0	25
4	デチョン	4,134	2.1	20
5	ヨンダム	930	2.8	13
6	ボリョン	164	2.8	16
7	ナムガン	2,285	3.5	13
8	ハプチョン	925	2.3	24
9	ミリャン	96	3.1	12
10	アンドン	1,584	2.1	13
11	イムハ	1,361	1.6	20
12	ヨンチョン	235	1.7	19
13	ウンムン	301	2.6	17
14	ソムジンガン	763	2.3	39
J1	土師	308	3.8	20
J2	石淵	154	8.3	35
J3	笹生川	70	10.5	28
J4	綾北	148	7.2	28



### 3.3 河川流量の特性

#### 3.3.1 主要河川の月別平均流量

図 3-2 に、各地点の月別平均流量を示す．韓国では降水は 7 月から 9 月に集中しているため、平均流量もそれに対応したものになっている．

また、日本では日本海側・太平洋側等の間での降水パターンの違いや冬期の積雪量の違いがあるため、それを反映して流量のパターンも地域間での違いが見られるが（袁・佐藤<sup>(67, 68)</sup>, 1996a; 1996b), 韓国ではそういった地域別の流量パターンの違いは顕著には見られない．また、冬期は降雪がほとんどないため、春先の融雪の影響を考慮する必要はないと判断される．

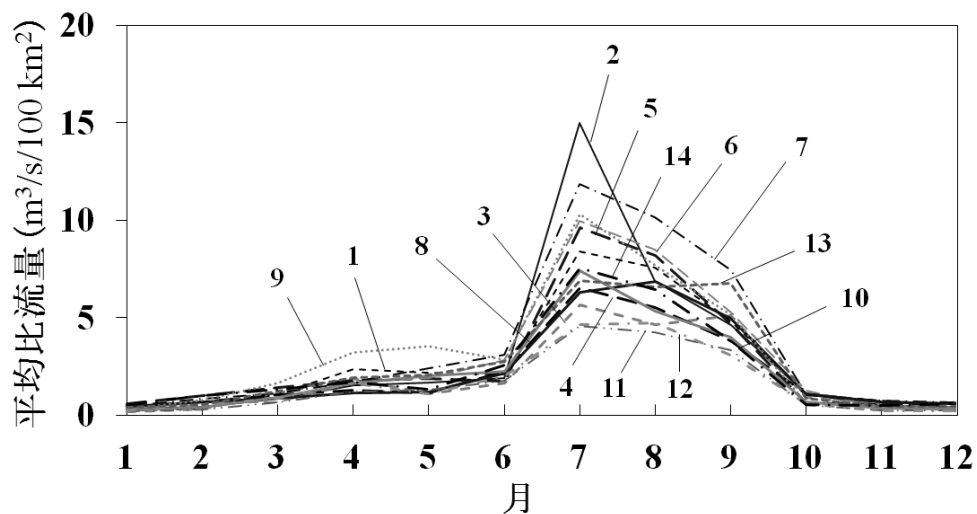


図 3-2 分析地点の月別平均流量

#### 3.3.2 主要河川の渇水時流量

水田灌漑において河川の自流量を灌漑に用いる段階（ダムなしの段階）での、河川流量と水田灌漑の関係を考える．図 3-3 の右側は、分析対象地点のハイドログラ

フを模式的に示したもので、河川自流の渇水時流量  $q_0$  を示したものであり、左側は河川からの一定流供給量とこれに対応して開発できる灌漑面積の関係を右側の図と関係して模式的に示したものである。

新沢<sup>(59)</sup> (1962) が明らかにしているように、十分に平野が広がっている地域では、河川の自流量を灌漑に用いた水田開発面積は、水田灌漑期間の河川自流の渇水の流量を基準とする範囲にとどまる (図 3-3)。また、渇水時流量が水田開発面積を制限するという視点からは、渇水がどの時期にどれだけの期間で連続して生じるのかが問題である。

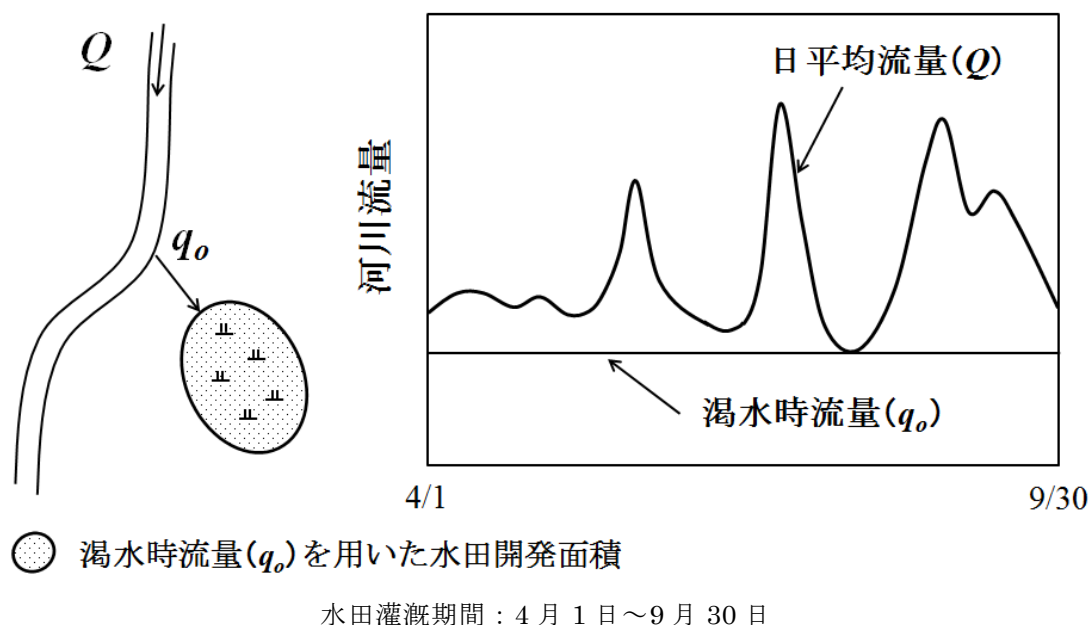


図 3-3 河川自流の渇水時流量 ( $q_0$ ) と水田開発面積の関係

#### (1) 求め方

現在、日本の水田灌漑計画では、一般に、年非超過確率 1/10 程度の渇水年に水不足が生じないように水源を確保することが必要とされている。そこで本研究でも、袁・佐藤<sup>(67, 68)</sup> (1996a; 1996b) に倣い、年非超過確率 1/10 の流量を用いて評価する。すなわち、各年ごとに水田灌漑期間の日比流量の最小値を求め、得られた最小

比流量群についてワイブルプロットによって年非超過確率 1/10 の比流量を求め、その地点の「渇水時比流量」とした。また、水田灌漑期間は 4 月 1 日～9 月 30 日の 6 カ月間とした。これは、韓国の現在の水田灌漑期間が 4 月中旬から 9 月中旬であることと、袁・佐藤<sup>(68)</sup> (1996b) が 4 月 1 日～9 月 30 日の 6 カ月を用いて日本の河川流量を分析しており、韓国の河川と比較するために灌漑期間の長さを合わせたことによる。

## (2) 渇水時流量の大きさ

求めた渇水時比流量を表 3-2 に示す。韓国の河川のうち 3 番のカンドンだけは  $0.04 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  と極めて低く、データの信頼性が懸念されるが、それ以外の地点の渇水時比流量の範囲は  $0.12 \sim 0.21 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  となっている。袁・佐藤<sup>(68)</sup> (1996b) によると、日本の河川の水田灌漑期間の渇水時比流量（貯水池湖面からの蒸発量は考慮しなかった値）は  $0.80 \sim 2.01 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  であるから、韓国の渇水時比流量は貯水池湖面からの蒸発量を考慮しても、日本の 10 分の 1 以下であり、極めて小さいと言える。

なお、平均降水量（表 3-2）を見ると、韓国の分析地点の年間と灌漑期間の降水量はそれぞれ  $998 \text{ mm} \sim 1,549 \text{ mm}$ （平均  $1,334 \text{ mm}$ ）、 $840 \text{ mm} \sim 1,355 \text{ mm}$ （平均  $1,108 \text{ mm}$ ）であり、日本の年間と灌漑期間の降水量は、特に降雨量が多い南九州の綾北ダムを除くと、それぞれ  $1,547 \sim 2,467 \text{ mm}$ （平均  $1,965 \text{ mm}$ ）、 $1,062 \sim 1,337 \text{ mm}$ （平均  $1,178 \text{ mm}$ ）である。これより、韓国における年間の降水量は日本に比べて約  $600 \text{ mm}$  程度で大きく少ないことがわかる。しかし、灌漑期間の降水量だけを見ると、韓国の灌漑期間の降水量が日本と比較して決定的に少ないということはないことがわかる。

表 3-2 対象流域の降水量と渇水時流量

ダム 番号	渇水時流量 m <sup>3</sup> /s/100km <sup>2</sup>	平均降水量 mm		
		年間	灌漑期間	非灌漑期間
1	0.16	1,234	1,048	186
2	0.13	1,549	1,345	204
3	0.04	1,337	1,051	286
4	0.13	1,178	944	234
5	0.21	1,427	1,176	251
6	0.16	1,430	1,188	242
7	0.15	1,621	1,355	266
8	0.14	1,313	1,097	216
9	0.18	1,505	1,254	251
10	0.18	1,246	1,060	186
11	0.12	998	840	158
12	0.15	1,233	998	235
13	0.15	1,277	1,041	236
14	0.17	1,324	1,066	259
J1	0.71	1,547	1,062	485
J2	1.16	1,881	1,135	746
J3	1.04	2,467	1,337	1,130
J4	1.29	3,177	2,406	771

### (3) 渇水の発生期間

水田水稻作の場合、田植え後から収穫前までのいずれの生育ステージにおいても、20 日間を超える干ばつが続くと収穫量が 10 %以上減少する、とされている（韓国農村振興庁<sup>(21)</sup>，2004）。そこで、5 日間ではなく 20 日間の比流量の移動平均（前 9 日、後 10 日間を含めた 20 日間の移動平均値）をとり、渇水の目安としてその値が  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  以下になる発生確率を月別に求めた。

結果を表 3-3 に示す。分析対象地点について、各月における日平均比流量が  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  以下になる日が発生した年数を求めて、これを対象地点の資料年数で割り（発生年数 / 資料年数）、確率として表したものである。これより、5 月や 6 月に、ほとんどの河川（分析ダム地点 14 箇所のうち 10 箇所）で渇水時流量が発生しており、20～30 %の頻度で渇水時比流量に近い流量が続く河川が多いことがわかる。

また、降水が集中する 7 月から 9 月の間にも、約 10～20 %程度の頻度で渇水時比流量に近い流量が続く河川が多いこと（分析ダム地点 14 箇所のうち 10 箇所）がわかる。

河川の上流に建設された大規模なダム群によって灌漑用水が安定的に供給されている現代では、用水を大量に使用する田植えの期間が 5 月上・中旬期である。しかし、大規模なダムが建設される以前であり、河川自流を利用して水田開発を進めていた戦前の日本統治時代前期（1920 年代）の韓国の田植えは、5 月中旬から 6 月下旬の間で行われ、収穫は 9 月下旬から 10 月上旬の間だったとされている（韓国農村振興庁<sup>(21)</sup>，2004）。そのため、日本統治時代前期の水田灌漑期間は 5～9 月（田植え期間：5～6 月、普通期間（出穂期から穂ばらみ期）：7～9 月）とみてもよい。これより、韓国の河川では水田灌漑期間中に 10～30 %の頻度で、渇水時比流量に近い流量が続くということがわかる。

表 3-3 0.2 m<sup>3</sup>/s/100 km<sup>2</sup> 以下の流量（20 日移動平均）発生確率

ダム 番号	発生確率（発生年数/資料年数，％）							資料 年数
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	4~9 月*	
1		5°	8				10	40
2		23	15°			8	31	13
3	16	28	52°	16	16	28	72	25
4		10	30°	5		5	45	20
5			23°				23	13
6	19	25°	31		6	25	69	16
7			°					14
8	8	25	29	8°	8	4	46	24
9					°	8	8	12
10			15°			8	23	13
11	25	35°	30		20	25	55	20
12	16	37	47	21°	21	21	79	19
13		6	29		°	12	41	17
14	10	13	21°	8	8	3	33	39

\*は，月間の重複を除いて計算

○は，渇水時流量の発生月

発生時期の決定：20 日移動平均を用いているため，  
各月のデータは前月 9 日，後月 10 日の日比流量データを含む

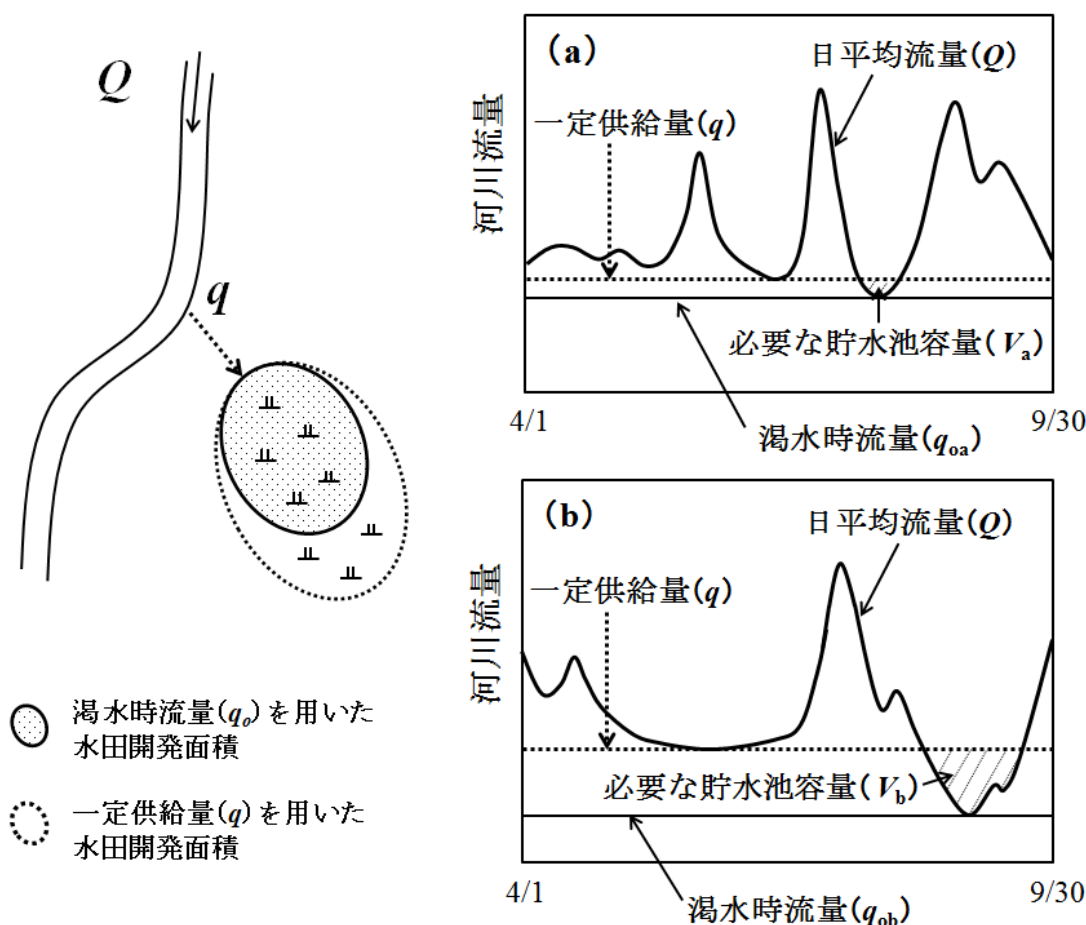
### 3.4 必要な貯水池容量でみた河川流量の変動特性

ここで、ダムが開発されるようになった段階での、河川流量と水田灌漑、河川から一定流量の灌漑用水を供給するために必要な貯水池容量  $V$  の関係について考える。

図 3-4 の右側は、分析対象地点のハイドログラフを模式的に示したもので、河川から一定流量の灌漑用水を供給するために必要なダムの貯水池容量  $V$  ( $V_a$ ,  $V_b$ ; 図の斜線部の面積), 一定供給量  $q$  ( $q_a$ ,  $q_b$ ), 渇水時流量  $q_0$  ( $q_{0a}$ ,  $q_{0b}$ ) の関係を示したものである。また、左側は河川からの一定流供給量 (渇水時流量  $q_0$ ,  $q_0$  を超える流量  $q$ ) とこれに対応して開発できる灌漑面積の関係を模式的に示したものである。ここで、(a) と (b) の河川の平均流量は同じことに仮定する。

ダムによって河川流量を制御できる段階になると、水田の開発可能面積は、河川の自流にダムからの放流を加えた流量によって灌漑できる面積にまで拡大する (図 3-4)。

そこで、灌漑期間中に河川から「一定流量の灌漑用水を供給するために必要なダムの貯水池容量」 $V$  を考えると、平均流量が同じ河川でも、流量が常に平均流量に近い河川 (図 3-4 (a)) では、一定流量  $q$  を供給するための  $V (=V_a)$  は小さくなる。一方、洪水と渇水とで流量が大きく変動したり、渇水期間が長く続く河川 (図 3-4 (b)) では、同じ一定流量  $q$  を供給するための  $V (=V_b)$  は大きくなる。つまり、 $V$  は、ダムが開発されるようになった段階での、灌漑利用からみた河川の利用のしやすさ、あるいは、河川流量の変動パターンを示す指標になる。これが、科学技術庁資源調査会<sup>(13)</sup> (1965), および、菅原<sup>(64)</sup> (1968) が提唱した「必要貯水池容量による流量変動の評価」である。



水田灌漑期間は4月1日～9月30日，また，(a) と (b) の河川の平均流量は同じ

図 3-4 渇水時流量 ( $q_0$ ) を超える一定供給量 ( $q$ ) と水田開発面積の関係

ここで，河川流量の変動と一定供給量  $q$ ，必要な貯水池容量  $V$  の関係について考える．図 3-5 の上側 (a) は，ある分析対象地点の 1 年間のハイドログラフを示したもので，赤い点線が日流量，青い線が 5 日移動平均流量，緑の点線が一定日供給量  $q$  である．また，図 3-5 の下側 (b) は，(a) からの「日流入量と一定日供給量の差の累積値」(を求め，作ったグラフとして，ダムの貯水池容量の変化を示している．

(b) の赤い線はダムの満水位を，青い線はダムの貯水池容量の変化を示す．(b) の最大貯水減少量がある年の灌漑期間中，一定流量  $q$  を供給するために必要な貯水池容量になる．具体的な必要な貯水池容量の計算方法は，3.4.1 で記述する．

本研究では，一定流量  $q$  を供給するために必要な貯水池容量を 1 年ごとの灌漑期



間中に求め、得られた貯水池容量から 1/10 確率年にあたるものを、その地点の  $q$  のために必要な計画貯水池容量  $V$  とする（袁・佐藤<sup>(67)</sup>, 1996a）。そして、一定供給量  $q$  を一定量ずつ上昇させて、これに対する  $V$  を求めて、前記の分析対象地点の流量特性を評価した。

ただし、一定供給量  $q$  が大きくなると、前年の灌漑期間が終わってから次の年の灌漑が始まるまでにダムが満水しないことがある（図 3-6）。その場合、当該年の  $V$  は満水からの不足分も含めて求められ、当該年の流況を表す指標としては過大に評価されることがある。この問題を避けるため、各年の灌漑が始まる 4 月 1 日の時点でダムが満水している範囲の  $q$  について  $V$  を求めて評価した。

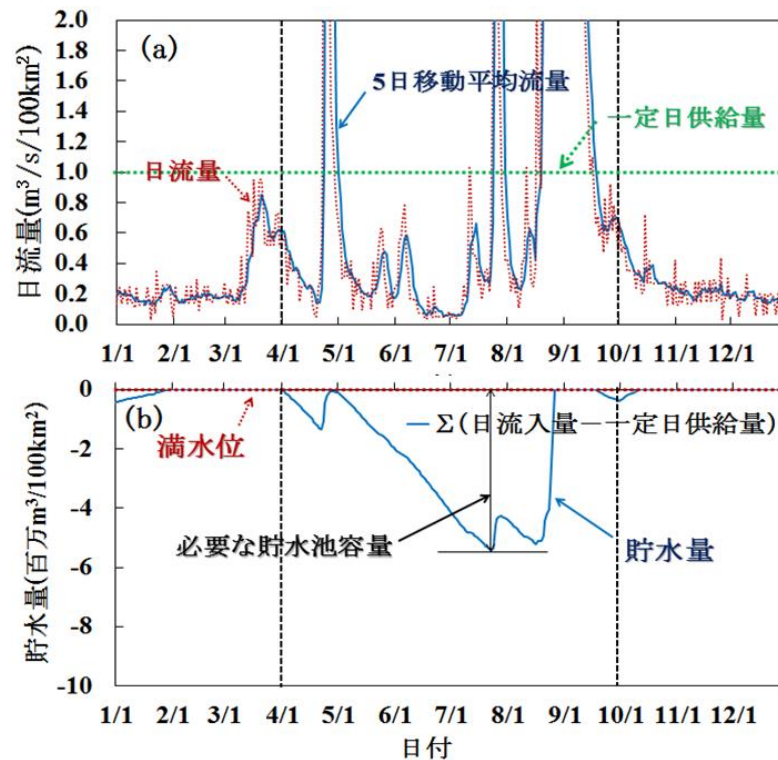


図 3-5 河川流量と一定供給量  $q$ , 必要な貯水池容量  $V$  の関係

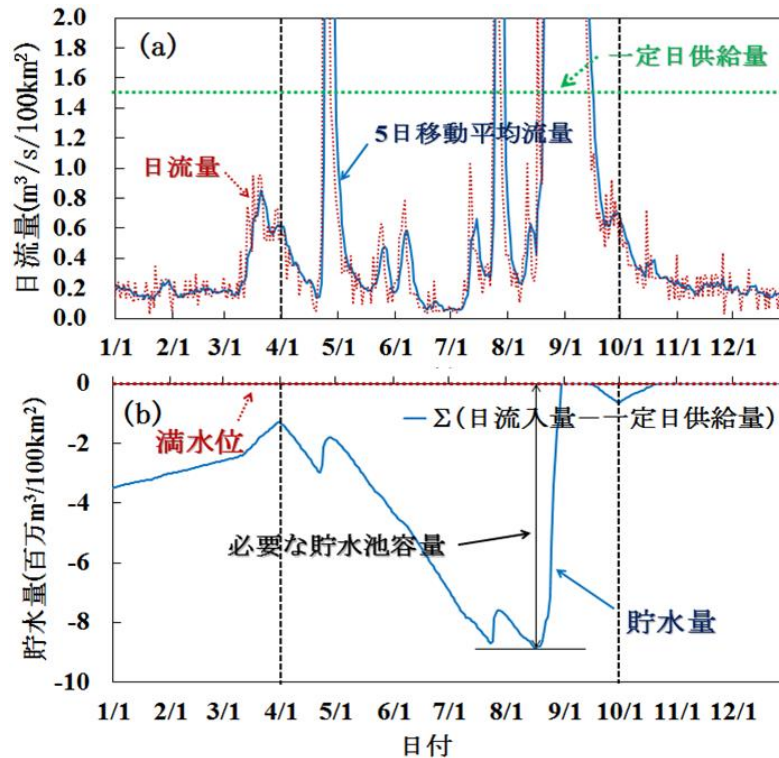


図 3-6 4 月 1 日まで満水しない場合の，必要な貯水池容量  $V$

### 3.4.1 必要な貯水池容量の求め方

各地点の，一定供給量  $q$  のために必要なダムの計画貯水池容量  $V$  の求め方は，以下の通りである．

1) 河川流量の分析対象地点にダムを建設し，ダムから直接，灌漑地区に用水を供給するケースを想定する．灌漑期間の間，一定供給量  $q$  ( $\text{m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ ) を灌漑地区に供給するものとする．10 月 1 日～3 月 31 日は非灌漑期間で， $q = 0$  である．

2) 対象期間の最初の年の 4 月 1 日にダムが満水しているものと仮定する．翌日の貯水量は，当日の貯水量に（当日のダムへの流入量－ダムからの放流量  $q$ ）を加えたものになる．ただし，貯水量が満水量を超えた場合は，その分，ダムからオーバーフローするものとする．この計算を対象期間の最後の年の 9 月 30 日まで行う．

3) 各年の 3 月 31 日に，ダムが満水しているかを確認する．満水しない年が 1 年でもあった場合，以下の計算は行わない．

4) ダムの満水が確認できたら、得られた計算結果を4月1日～3月31日の水年ごとに区切り、各水年について最大貯水減少量を求める。これがその年について必要な貯水池容量  $v$  になる。データ年数分から得られた各年の  $v$  群について、ワイブルプロットによって年非超過確率  $1/10$  にあたる値を求める。これが一定供給量  $q$  のために必要な計画貯水池容量  $V$  になる。

5)  $q$  を  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  から  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  まで、 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  きざみで増加させて、それぞれについて必要な貯水池容量を求める。また、 $q$  を各分析対象地点の長期平均流量（流量データの期間全体の平均値）で割った値を利用レベル  $\lambda$  とし、5 %から70 %まで、5 %ずつ上昇させたものについても同様に  $V$  を求める。上限を70 %にしたのは、比較対象とした日本の河川について、袁・佐藤<sup>(68)</sup> (1996b) が70 %まで分析しているためである。

### 3.4.2 結果

#### (1) 満水する利用レベルの上限：経年貯水ダムの必要性

表 3-4 に、灌漑期の開始日（4月1日）までに、ダムが満水する利用レベルの最大値を示す。韓国のダムでは、利用レベルの上限が30～50 %といった低い段階で満水しなくなるケースが目立つ。袁・佐藤<sup>(68)</sup> (1996b) によると日本の場合は、一定供給量  $q$  ( $\text{m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ ) を分析対象期間の灌漑期間だけでなく、全体期間を通して供給するものとしても、ほとんどのダムが利用レベル70 %以上でも、灌漑期が始まるまでに満水することが明らかになっており、これに比べて韓国では利用レベルが低い段階で満水しなくなることがわかる。これは、日本と比べ韓国では、前述のように非灌漑期の10月～3月の降水量が相対的に小さいことを反映している（表 3-2）。

また、このことから、韓国では河川水の利用レベルが相対的に低い段階から、必要なダムは「経年貯留ダム」になると推論できる。単年貯留から経年貯留になると、貯水池の「補給期間」が一挙に長くなるため、その後の  $q$  の増加に対する  $V$  の増大の割合が大きくなり、 $V$  が急激に大きくなる（袁・佐藤<sup>(67)</sup>, 1996a）。

表 3-4 貯水池が各年独立して用水供給できる利用レベルの最大値

番号	ダム名	供給量 m <sup>3</sup> /s/100km <sup>2</sup>	利用レベル %
1	ソヤンガン	1.8	70
2	フェンソン	1.5	50
3	カンドン	1.1	55
4	デチョン	1.2	55
5	ヨンダム	1.8	65
6	ボリョン	0.7	25
7	ナムガン	1.7	50
8	ハプチョン	1.4	60
9	ミリャン	1.6	50
10	アンドン	1.7	80
11	イムハ	0.7	45
12	ヨンチョン	0.5	30
13	ウンムン	1.3	50
14	ソムジンガン	1.3	55
J1	土師	3.8	100
J2	石淵	7.1	85*
J3	笹生川	8.9	85*
J4	綾北	5.4	75*

\*は、一定流量を1年を通して供給するケースで求めた値

## (2) 一定供給に対する必要な貯水池容量

結果を図 3-7 に示す。図の横軸は一定供給量  $q$ ，縦軸は必要な貯水池容量  $V$  として，それぞれの曲線が，韓国の 14 箇所の対象地点と日本の対象地点における一定供給量  $q$  に対する必要な計画貯水池容量 ( $V$ ) を示す。 $q$  が渇水時流量以下であれば  $V$  はゼロになる。また，平均流量が大きい河川では  $q$  の増加に対する  $V$  の増大が小さいことがわかっている（袁・佐藤<sup>(68)</sup>，1996b）。

図 3-7 の結果より，同じ  $q$  に対する  $V$  は，韓国の河川が日本より数倍以上大きいことがわかる。また，渇水時流量の違いを反映して，日本の河川では一定供給量がおおむね  $1 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  までは貯水池が必要でないのに対し，韓国では  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  でも貯水池による補給が必要になっている。また，グラフから外挿すると  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  以下でも貯水池による補給が必要になると推察される。

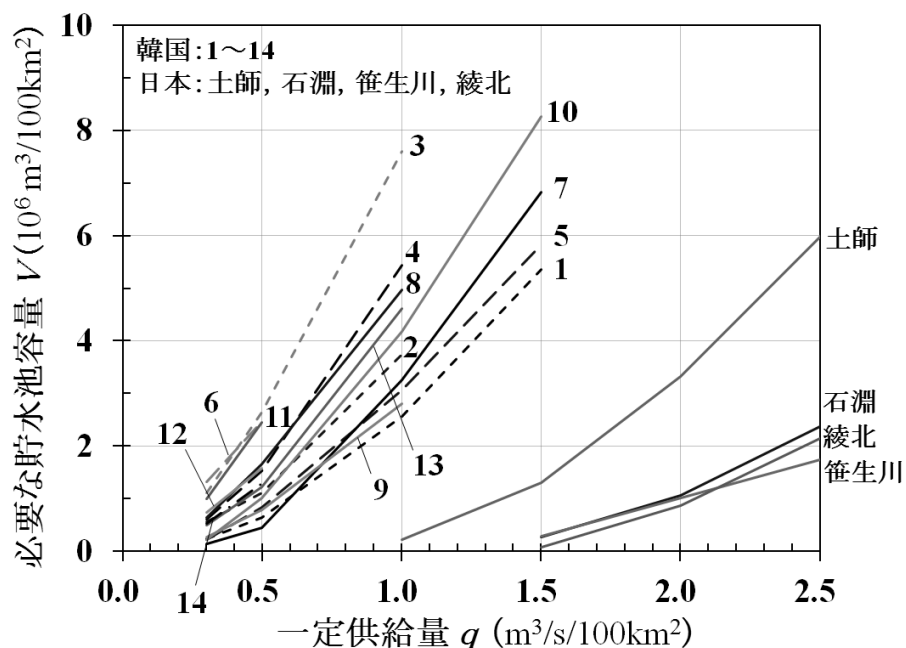


図 3-7 一定供給量  $q$  と必要な貯水池容量  $V$  の関係

また，菅原<sup>(64)</sup>（1968）は， $q$  と  $V$  の関係について異なる各河川のハイドログラフの形を相対的に比較するため， $q$  の代わりにこれを無次元化した利用レベル  $\lambda (= q/$

平均流量)を用いて分析している。また、 $V$ についても各利用レベルに対応する一定供給量  $q$  ( $= \lambda \times \text{平均流量}$ ) で割った値  $n$  ( $= V / (\lambda \times \text{平均流量})$ ) を用いて、平均流量の影響をなくしている。 $n$  は貯水池規模を表しており、必要な貯水池容量が供給量の何日分に当るかを示す値(日数)である。

そこで、ここで同様の計算・検討をおこなった。各利用レベルに対する  $n$  は、1)  $\lambda$  に対する  $q$  を求め、2) その  $q$  に対する  $V$  を前記の方法(3.4.1の「必要な貯水池容量の求め方」)で求め、3) 得られた  $V$  を1)の  $q$  で割って求めた。

結果を図 3-8 に示す。これより、韓国の方が、同じ河川流量レベルに対する貯水池規模  $n$  が大きいことがわかる。例えば、笹生川では利用レベルが 40 % の場合、その時の一定供給量  $q$  ( $= 4.2 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ ) の約 20 日分の貯水池規模が必要であるのに対し、韓国のナムガン(番号 7)では一定供給量  $q$  ( $= 1.4 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ ) の約 50 日分の貯水池規模が必要となっている。これは、平均流量以外の河川流量の変動パターンの違いによるもので、韓国の河川の方が同じ利用レベルに対してダムからの補給が必要になる期間が長いことが考えられる。

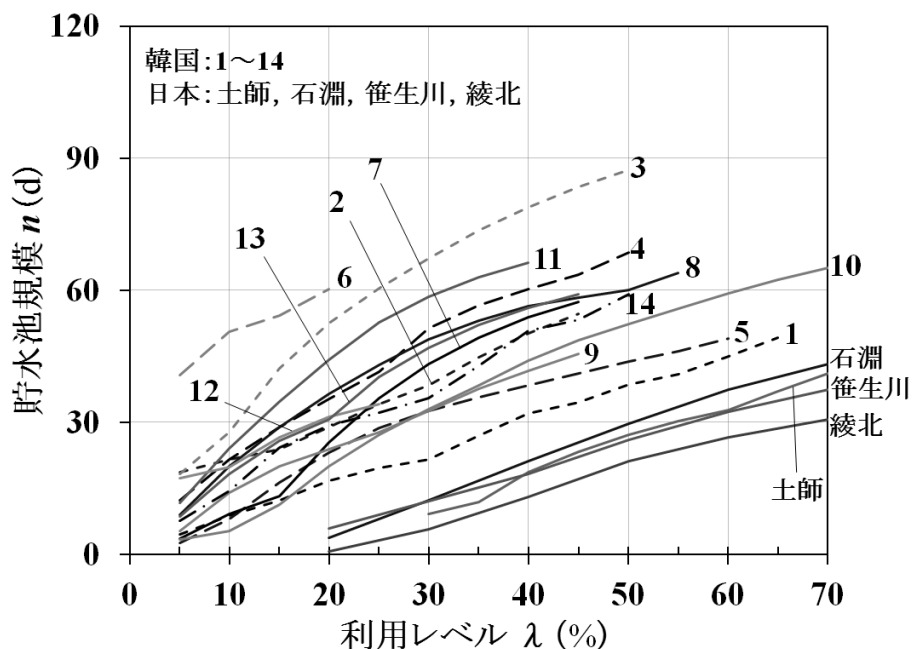


図 3-8 利用レベル  $\lambda$  と貯水池規模  $n$  の関係

### (3) 河川の渇水期間（ダムからの補給が必要な期間）

ここで、一定供給量  $q$  に対する必要な貯水池容量が  $V$  であるときの、渇水期間（ダムから放水して供給量を補給する「実補給期間」） $T$  について考える。

図 3-9 は、分析対象地点のハイドログラフを模式的に示したもので、実補給期間  $T$  と一定供給量  $q$ 、必要貯水池容量  $V$ （図の斜線部の面積）、渇水時流量  $q_0$  の関係を示したものである。図 3-9 (b) に示すように、渇水時流量  $q_0$  が小さい河川 (b) では、(a) に比べて補給量 ( $q - q_0$ ) が大きくなるため、同じ  $V$  に対する実補給期間  $T$  は短くなる。つまり、前記の  $V$  や  $n$  の値の大小では異なる河川の間で実補給期間  $T$  の大小を比べることはできず、 $q_0$  を考慮した指標が必要になる。

そこで、ここでは指標として

$$m = \text{必要な貯水池容量 } V / (\text{一定供給量 } q - \text{渇水時流量 } q_0)$$

を用いた。図 3-9 に示すように、 $m$  の値は図の斜線部の面積 ( $V$ ) を補給量 ( $q - q_0$ ) で割ったもので、その大小は  $T$  の大小にほぼ対応するものとみなせる。この  $m$  を各河川の利用レベルごとに求めて比較した。

結果を図 3-10 に示す。同じ利用レベルに対する韓国と日本の河川の  $m$  の値の差は、図 3-10 の  $n$  の差に比べて小さくなっているが、それでもほとんどの場合で、韓国の河川の方が大きいことがわかる。

日本の河川は、利用レベル 40 % 前後までは  $m$  の値は 30 日を下回るのに対し、韓国では、ほとんどの河川が利用レベル 20 % で  $m$  の値が 30 日を超え、利用レベル 40 % では 30 ~ 70 日に達している。このことから、韓国の河川で同じ利用レベルに対する  $V$  が大きくなるのは、渇水時流量が小さいだけでなく、水田灌漑期間中、ダムからの補給が必要になる渇水期間が相対的に長いことにも影響を受けていることがわかる。

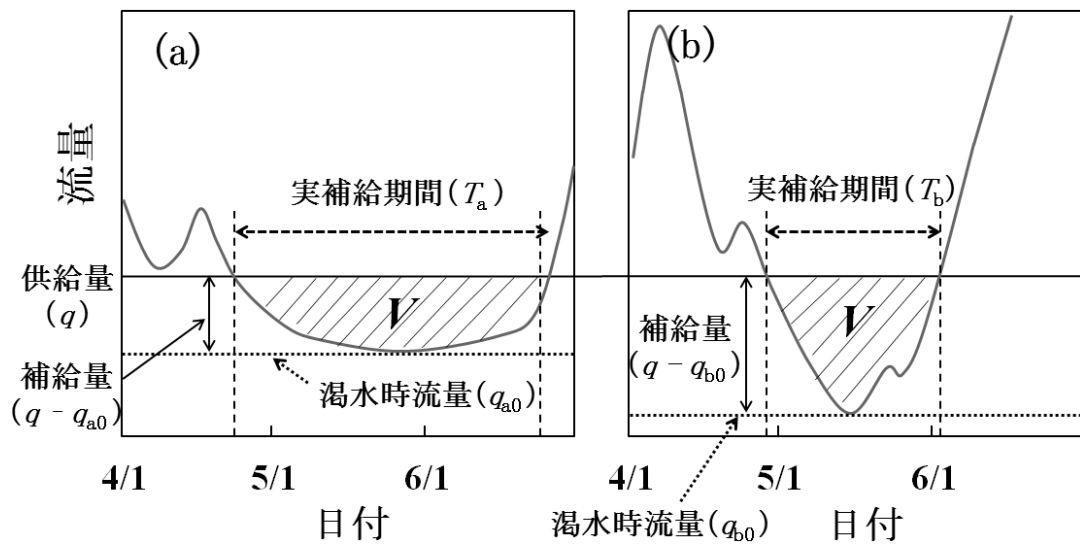


図 3-9 必要な貯水池容量における実補給期間  $T$  と補給量  $(q - q_0)$  の関係

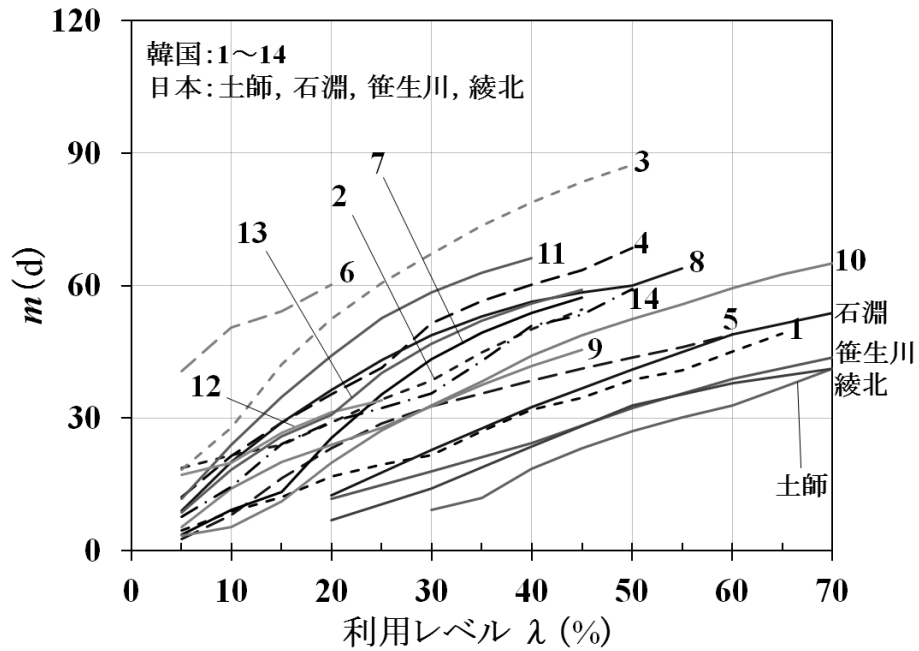


図 3-10 利用レベル  $\lambda$  と  $m$  の関係



### 3.5 考察

#### 3.5.1 河川流量の特性が水田灌漑に及ぼす影響

以上の結果として得られた韓国の河川流量の特性が、韓国の水田開発や水田灌漑に及ぼす影響として、以下のことが言える。

まず、韓国の河川は日本の河川と比べ、灌漑期間中の渇水時比流量が極めて小さく、またそれに近い渇水状態が 20 日以上という長期間におよぶ年が多いことから、河川の自流のみを灌漑水源として使う、いわゆる「河川灌漑」が可能な面積は、日本と比べて極めて小さくとどまる、ということである。

安定的な水資源を得るためには、河川の利用レベルが低い段階から、溜池等の貯水施設が必要になる。現在、韓国では日本と違って、河川灌漑よりも溜池灌漑が主流とされるが (Kim<sup>(29)</sup>, 2002), そのことは、このような河川流量の水文特性が基本的要因をなしているものと考えられる。

また、韓国では、貯水池を建設する場合でも、渇水期間が長いため、同じ利用レベルに対する必要なダム貯水池容量が大きい。このことは、ダム建設によって水田を開発する場合でも、水源手当のためのコストがよりかさみ、水田開発がより困難であることを示している。

実際、韓国では 1960 年代までは天水田や灌漑水源が不安定とされる水田が 50 % を占め、貯水池による灌漑水田は 30 % 程度だったとされているが (Lee<sup>(36)</sup>, 1964), 1970~80 年代に国際機関の資金援助を受けて大規模多目的ダム群が建設され、それによって天水田や灌漑不安定田が 20 % に減少し、貯水池灌漑田が 60 % に増加している (韓国農漁村振興公社<sup>(20)</sup>, 1999)。その背景条件として、前記の河川流量特性によるダム建設の難しさがあると考えられる。

#### 3.5.2 渇水時流量が小さいことの要因

韓国の河川の渇水時流量が小さいことの要因の一つに、非灌漑期間の 10 月から灌漑期の 5 月までの降雨量はほとんどないことがある (鮮于<sup>(63)</sup>, 2002; Lee and Woo<sup>(38)</sup>,

1992).

また、日本との比較では、流域の地質の違いも影響していると考えられる。志水<sup>(58)</sup> (1980) や虫明ら<sup>(59)</sup> (1981) が示したように、山地での河川の渇水時の流出量は流域の地質に大きく影響を受け、第三・四紀火山岩類・花崗岩類の地層の方が、中・古生層の地層よりも、空隙の割合が多いため地下に浸透する水量が多く、渇水時の流出量は大きくなる。

日本全体の地質は中・古生層が 35 %, 第三紀・第四期が 65 %なのに対し(須藤<sup>(65)</sup>, 2006), 韓国では先カンブリア時代層が 40 %, 中生層・古生層が 54 %で、第三紀・第四紀層は 6 %と少ない(Kim et al.<sup>(26)</sup>, 2006). 本研究の対象流域の地質も同様に、第三紀・第四紀層の占める割合は極めて少ない。この地質の違いも、韓国の渇水時流量が小さいことの要因となっている可能性が考えられる。

### 3.6 本章のまとめ

本章では、韓国の河川流量の特徴を、水田灌漑用水利用の視点から検討した結果、以下のことが明らかになった。

1) 韓国の河川の水田灌漑期間中の渇水時流量は、年非超過確率 1/10 で評価すると、 $0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  程度で、日本の河川の  $0.8 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  程度（日本の場合、貯水池湖面からの蒸発量は考慮しなかった値）と比べると極めて小さい。

2) 韓国の河川では、 $0.2 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  以下の渇水は、主に灌漑用水をもっとも必要とする 5～6 月の田植えの時期に発生し、その発生確率は 20～30 %の河川が多い。また、降水が集中する 7 月から 9 月の夏期普通期間（出穂期から穂ばらみ期）にも、10～20 %の頻度で渇水時比流量に近い流量が続く河川が少ない。

3) 韓国では日本と違って、河川水の利用レベルが 50 %以下の低い段階から経年貯留が必要になるダムが多く、同じ利用レベルに対するダムの貯水池容量は大きい。これは、韓国では非灌漑期（10 月～翌年 3 月）の降雨が極めて少ないことに起因している。

4) 利用率が低く単年度水供給が可能な利用レベルでも、一定流量の灌漑用水を供給するために必要なダムの貯水池容量は、韓国の方が日本に比べて極めて大きい。

これは、平均流量の違いだけでなく、渇水期間が長いという韓国の河川流量の特徴による。

5) 1)～4)より、韓国は日本と比べ、河川の自流で安定的に開発できる水田面積(「河川灌漑」が可能な面積)は小さく、またダムで用水を補給する場合も、より規模の大きいダムを建設する必要があるという不利な条件を持つ。こうした河川水資源の制約が、韓国のこれまでの水田開発を強く制約してきたと考えられる。

6) 渇水時流量が小さい要因として、韓国の河川流域では、非灌漑期の10月から灌漑期の5月にかけての降水量が極めて少ないことがある。また、山地流域において、降雨を貯留しにくい中・古生層の地質の占める割合が高いことも可能性として考えられる。

## 第4章 韓国近代前期における河川灌漑田の利水安全度

### 4.1 目的

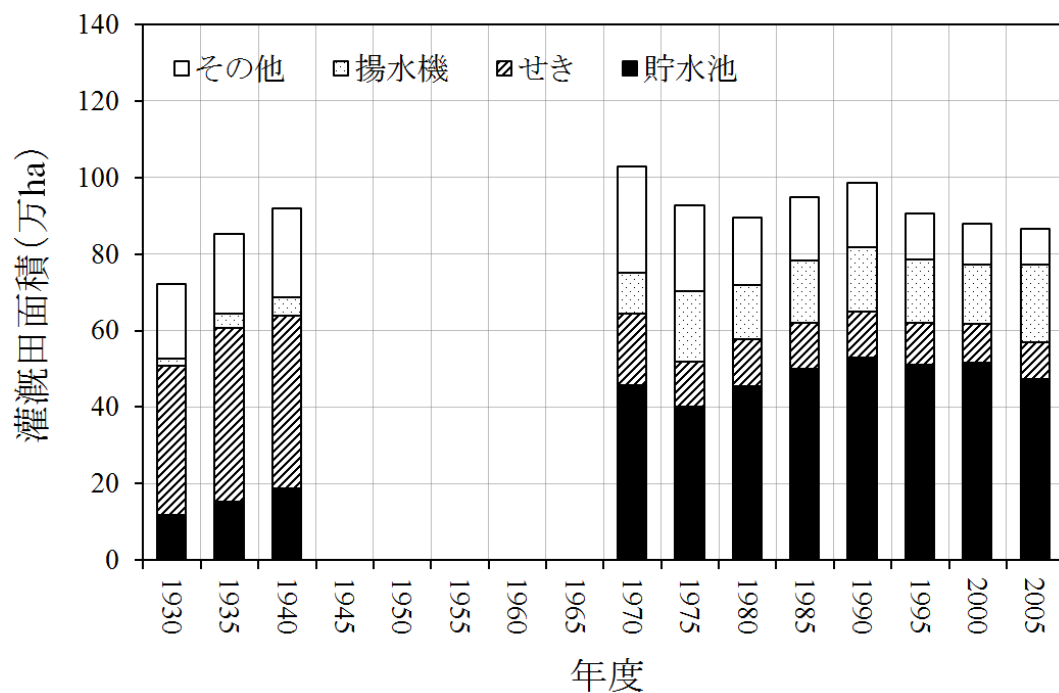
前章（第3章）によって、韓国の主要な河川の渇水時流量が日本の河川と比べて極めて小さいことが明らかになっており、これより、日本統治時代以前の朝鮮時代の水田開発とその分布は、河川の渇水時流量により強く制約を受けていたことが予想される。したがって、河川の自流のみを灌漑水源として使う段階での、河川の渇水時流量と水田開発の関係を検討する必要がある。

河川の上流に大規模のダムが建設されており、流量が人為的に調節されている河川では、河川の渇水時流量と灌漑可能面積との関係がダイレクトには成立しにくい。ため、分析対象とする期間を決める必要がある。

図4-1に、日本統治時代後期（1930～1945年）から現在までの灌漑施設ごとの水田面積の変化を示した（1940年代から1960年代までの統計データはない）。これより、現在の韓国の主要な水田地帯は、日本統治時代後期および戦後に建設された大規模なダム群によって灌漑用水が安定的に供給されていることがわかる。また、それ以前はこうした大規模な貯水池はほとんどなく、堰による灌漑田（河川灌漑田）中心であったことがわかる。

また、1930年以前の灌漑施設ごとの水田面積に対するデータはなく、当時の灌漑田の状況についての正確な情報はないものの、日本統治時代以前にいくほど貯水池による灌漑田が減少する傾向がみられる。そのため、本章では韓国近代前期を分析対象時期とする。

一方、韓国の近世・近代の水田の分布・開発については、前章（第2章）で術述したように歴史・地理等の分野で検討されているものの、河川水資源の定量的な評価をもとにした利水安全度という視点から、開発されている灌漑田の特性を分析した研究はない。そこで、本章では、韓国の近代前期における主要河川流域の、河川自流による灌漑田（河川灌漑田）の利水安全度を求め、その結果から当時の韓国の水田の、水利用からみた特性について検討することにする。



－1930 年：朝鮮土地改良事業要覧<sup>(5)</sup>（1931）

－1935, 1940 年：朝鮮総督府統計年報<sup>(3)</sup>（1936, 1941）

－1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995 年：Yearbook of Land and Water Development Statistics<sup>(48)</sup>（1971; 1976; 1981; 1986; 1991; 1996）

－2000, 2005, 2011 年：Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries<sup>(49)</sup>（2001; 2006; 2012）

図 4-1 灌漑施設別の水田面積の変化

## 4.2 研究対象流域・時代と，用いた資料

### 4.2.1 研究対象とした流域と流量データ

図 4-2 および表 4-1 に，研究対象とした韓国の主要河川（漢江，錦江，洛東江，蟾津江）とその概要を示す．また，流量データを利用した流域内のダムも示した．流域の選定にあたっては，前章（第 3 章）と同様に韓国のいわゆる「五大河川」の内，後述する日平均流量データが得られなかった榮山江流域を除いた 4 つの河川流

域を研究対象とした。これらの流域面積は韓国国土の約 65 %を占め、流域内の水田面積は 1927 年当時、朝鮮南部（韓国に相当）の全水田 125 万 ha のうち約 51 %の 64 万 ha を占めていたことから（朝鮮総督府<sup>(6, 7)</sup>, 1929a; 1929b），この流域の検討により当時の河川灌漑田のおおよその特性を読み取ることができる。

近代前期の渇水時流量を分析するためには、近代前期の日平均流量が必要だが、そうしたデータは見つけることができなかった。また、日降雨量データも見つけられなかったため、長期流出モデルを利用して降雨量から河川の流量変動を推定して、これより河川自流の渇水時流量を推定することもできない。そのため、以下では近年の河川流量が近代前期と比べて大きくは変化していないと仮定し、近年の流量データを用いて近代前期の渇水時流量を検討することにした。

なお、韓国の近年の降雨量の変化について、Lee<sup>(35)</sup> (1994) は、1905～1991 年の韓国 7 観測地点の年間降水量の変化を分析し、1959～1991 年の 33 年間の平均年間降水量（1,281 mm）は 1905～1991 年の 87 年間の降水量（1,238 mm）と比べて 43 mm 多いことを明らかにしている。また、韓国国土海洋部<sup>(17)</sup> (2013) は Lee<sup>(35)</sup> (1994) と同様の分析をし、1905 年から 2006 年にかけて、韓国の年間降水量が増加傾向にあることを示した上で、渇水年と洪水年とで年間降水量の差が大きくなっていることも指摘し、その結果として、洪水と渇水の規模が大きくなり、また、頻発化していることを挙げている。しかし、これらはいずれも年間降水量の分析であり、水田灌漑が行われる夏期の渇水流量の近年と近代前期の変化は、その分析結果からは推測できない。

分析に必要な韓国の近年の日流量データは、前章（第 3 章）のように近年のデータを韓国国土交通部<sup>(18)</sup> (2016) の WEB サイト「WAMIS」から入手して用いた。研究対象河川流域等にある 85 箇所の流量観測地点（ダム地点）のうち、1) 観測地点より上流に他のダムや大規模な用水利用がない、2) 10 年以上の流量データが取得できる、3) 流域面積がほぼ 100 km<sup>2</sup> 以上ある、という条件を満たす 11 箇所の流量観測地点（図 4-2 および表 4-1）を選定し、その日流入量データを用いて分析を行った。

また、WAMIS のダムへの流入量は、前章（第 3 章）で記述したように、ダムの

貯水位と放流量から計算で求めており、ダム貯水池の湖面からの蒸発量は無視しているため、前章（第 3 章）の日流入量データの補正を倣い、ダムの貯水池満水面積×蒸発量（日最大 4 mm（韓国建設交通部漢江洪水統制所<sup>(15)</sup>，2007））を日流入量に加えた。また、日流入量が小さい場合にはデータ誤差が大きくなるため、以下では前後 2 日間ずつを含めた 5 日間の移動平均値を日流量として用いた。

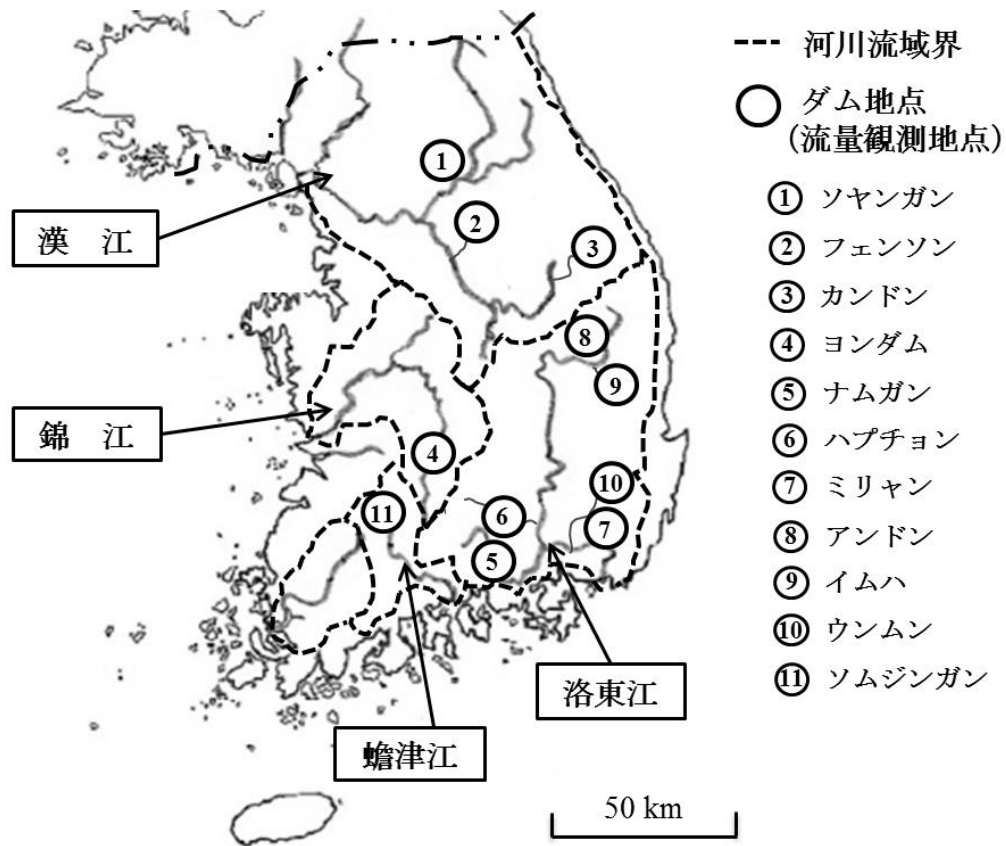


図 4-2 研究対象流域とダムの位置

表 4-1 研究対象流域とダムの概要

流域名	流域面積	山間部 流域面積	ダム 番号	流域面積	平均 流量 (年)	資料* 年数	対象期間*
漢 江	25,954	18,425	①	2,703	2.6	40	1974~2013
			②	209	3.0	13	2001~2013
			③	125	2.0	25	1989~2013
錦 江	9,912	6,189	④	930	2.8	13	2001~2013
洛東江	23,384	16,164	⑤	2,285	3.5	13	2001~2013
			⑥	925	2.3	24	1990~2013
			⑦	96	3.1	12	2002~2013
			⑧	1,584	2.1	13	2001~2013
			⑨	1,361	1.6	20	1994~2013
			⑩	301	2.6	17	1997~2013
蟾津江	4,960	3,403	⑪	763	2.3	39	1975~2013

流域面積，山間部流域面積：km<sup>2</sup>，平均流量：m<sup>3</sup>/s/100 km<sup>2</sup>

資料：WAMIS（韓国国土交通部<sup>(18)</sup>，2016）

\* 各分析対象流域における渇水時流量の分析には，漢江と錦江は 13 年間（2001～2013），洛東江は 12 年間（2002～2013），蟾津江は 39 年間（1975～2013），4 河川全体は 12 年間（2002～2013）の日流入量データを利用する



#### 4.2.2 文献資料の分析

河川灌漑田の利水安全度を求めるには、韓国近代における流域別・灌漑水源施設別の水田面積の、信頼性のあるデータが必要である。

日本統治時代以前の朝鮮には水田面積の正確な統計はなく（許<sup>(9)</sup>，2016），比較的正確なデータが得られるのは，朝鮮総督府が 1910～1918 年の 9 ヶ年間をかけて「土地調査事業」を行った後か，または，それ以外の灌漑田に関する個別調査等が行われてからである。

現在，入手可能な日本統治時代の水田面積に関する主要な統計書および調査報告書を表 4-2 に示す。このうち，もっとも古くから刊行されているのが「朝鮮総督府統計年報」（朝鮮総督府<sup>(3)</sup>，1910～1944）で，朝鮮全体および道別の水田面積は 1908 年から，灌漑田・天水田別水田面積等は 1934 年から，それぞれ 1942 年まで毎年報告されている。

また，朝鮮総督府土木局が 1915～1928 年に朝鮮の 14 の主要河川について，河川および流域の土地利用等に関する調査を行っており，「治水及水利踏査書」（朝鮮総督府<sup>(4)</sup>，1920）と「朝鮮河川調査書」（朝鮮総督府<sup>(7)</sup>，1929b）として刊行している。前者には主要河川の流域ごとの水田面積が記載されており，また，一部欠損はあるものの，貯水池，堰等の灌漑水源施設ごとに分けた水田面積の記載もあって，流域ごとの河川自流を用いた河川灌漑田の判別が可能である。一方，後者は前者から土地改良事業に関する調査（1919 年から殖産局土地改良課が実施）を分離したもので，流域ごとに水利組合が行った灌漑事業の水源施設ごとの灌漑田面積はあるものの，それ以外の水源施設別の水田面積は記載されていない。

またこの間，水利組合による土地改良事業の実施状況をまとめた「朝鮮土地改良事業要覧」（朝鮮総督府<sup>(5)</sup>，1925～1931；1936～1938；1946）と，前記の朝鮮総督府統計年報が刊行されたが，これらも朝鮮の道別の水田面積の合計はあるものの，流域ごとに分ける形では記載されていない。

以上より，本研究では，流域別・灌漑水源施設別の水田面積が得られる治水及水利踏査書の 1916 年のデータを用いることとした。この年のデータは，日本統治時代

が始まってから 6 年しか経っていないため、それ以前の大韓帝国および朝鮮時代の韓国の水田面積・特性をも反映しているものと考えられる。

なお、近年多くの韓国の研究者によって、朝鮮近代前期の統計資料に記載されている水田面積の信頼性について活発な議論が行われており、現在までのところ許<sup>9)</sup> (2016) が示した、1) 土地調査事業が完了する前の 1917 年までの朝鮮全体の水田面積の統計データはいずれも過小である、2) 「朝鮮河川調査書」の灌漑田面積は過小である、という見解が有力になっている。本研究ではこの点についても考慮して、水田の利水安全度の結果について考察をおこなった。

表 4-2 各文献資料の水田分類とデータ期間

資料名	発行年	朝鮮全体または道別			流域別		
		水田 合計	水源 施設の 区別	水利 組合 事業	水田 合計	水源 施設の 区別	水利 組合 事業
朝鮮総督府統計年報	1910～35	1908 ～ 33	—	—	—	—	—
	1936～44	1934 ～ 42	1934 ～ 42	1934 ～ 42	—	—	—
治水及水利踏査書	1920	1916	—	1916	1916	1916	—
朝鮮土地改良事業要覧	1928～46	1925 ～ 41	1925 ～ 41	1925 ～ 41	—	—	—
朝鮮河川調査書	1929	1910 ～ 27	—	—	1927	—	1909～ 28

朝鮮土地改良事業要覧は、1928～31 年、1936～38 年、1946 年に発行されており、1932～35 年、1939～45 年は発行されていない。

## 4.3 利水安全度を求めた方法

### 4.3.1 利水安全度を求めたモデルと基本的な考え方

佐藤<sup>(56)</sup> (2016) は、山間部（山林）からの総流出量で平野部の水田を灌漑することとし（図 4-3（著者作成）参照），平野部で最大限灌漑可能な水田面積を求めるモデルをつくり，下記の式で試算を行っている．

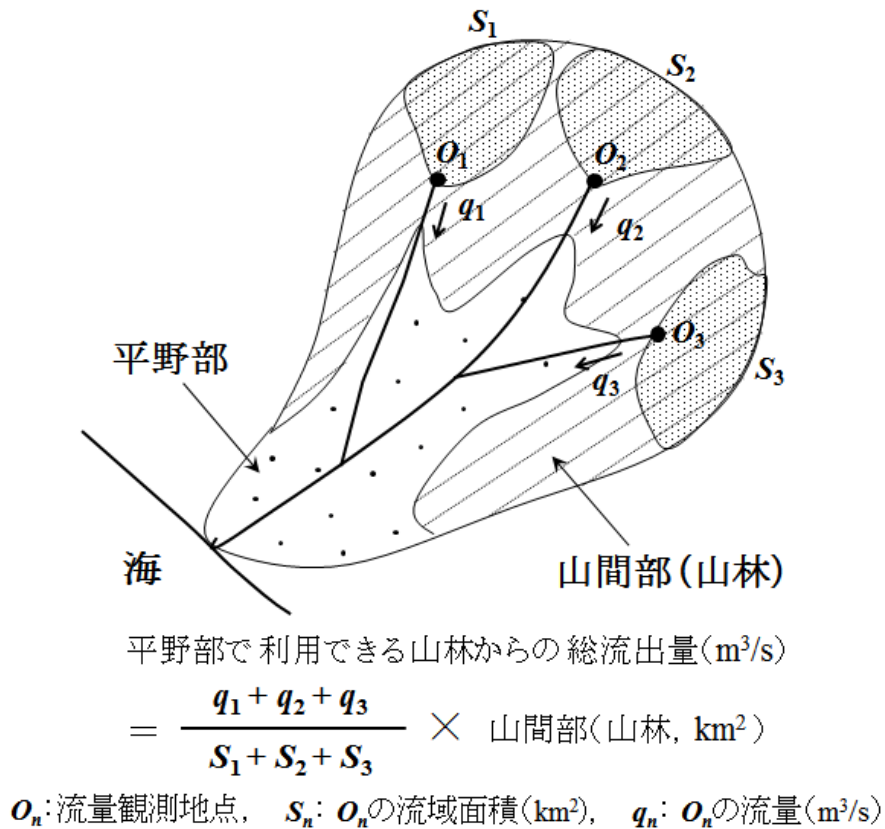


図 4-3 河川灌漑可能な水田面積を求める流域のモデル

灌漑可能な水田面積 = (山間部（山林）からの渇水時の比流量 × 山間部（山林）流域面積) / 水田の広域必要水量 (1)

ここで、水田の広域必要水量は、広域水田地帯に灌漑用水を供給した場合の消費水量（灌漑地区への用水供給量－地区からの排水量）であり，減水深法の浸透分や送配水ロス等を含めていない．渇水時には灌漑水利組織は反復利用や灌漑管理を強

化して、浸透水や管理用水等はすべて水利組織内・組織間で再利用するという考え方であり（佐藤<sup>(56)</sup>，2016），現在の日本の水田灌漑の利水計画基準に基づく必要水量（日減水深 20～30 mm で（農林水産省農村振興局<sup>(51)</sup>，2014），管理用水等のロスを 10～15 %程度見込むことが多い（佐藤<sup>(55)</sup>，2010））よりかなりきびしい指標である．また，現在の韓国の水田灌漑の利水計画基準は日本とほぼ同じで（韓国農漁村振興公社<sup>(19)</sup>，1998），これと比べても厳しい指標となっている．灌漑可能水田面積の上限を見極めるには，この指標の方が実態に近く適しているものと考えられる．

また，その広域必要水量について佐藤<sup>(56)</sup>（2016）は，日本では灌漑田面積 1,000 ha に対し 1 m<sup>3</sup>/s 程度が最小限必要な広域必要水量とし，佐藤<sup>(55)</sup>（2010）も 7～9 mm/d を安定的な消費水量として，水田の蒸発散量よりは大きくなることを指摘している．広域水田地域の場合，灌漑エリア内に畑や屋敷林などの水田以外の土地も混在し，そこからの蒸発散や地下浸透などに水田からの浸透水の一部が回ることもあるためである（佐藤<sup>(56)</sup>，2016）．

本研究でも以上の佐藤<sup>(56)</sup>（2016）のモデルを用いて灌漑可能な水田面積を求めることとした．その上で，韓国の主要河川流域それぞれについて，年非超過確率 1/10～9/10 の渇水時流量を求め，その流量で灌漑可能な水田面積を「利水安全度 1/10～9/10 の灌漑田」とし，それぞれ面積を求めた．そして，その結果を，文献資料によって得られた韓国近代前期の灌漑田面積と照合し，当時の主要河川流域の河川灌漑田の利水安全度を求めた．

ここで用いた「利水安全度」は，水不足の年発生確率で表現するもので，利水安全度が 1/10 とは，非超過確率年 1/10 の渇水流量に耐えられること（年当り 90 %の安全度）を意味する．

なお，このモデルは水田への直接降雨を考慮していない．モデルは夏期普通期を想定したもので，日本ではほとんどの地域でこの時期に無降雨に近い日々が長期間続く時期があつて，その間の用水供給は灌漑用水だけに依存することになるためである．

また，留意すべきことは，この指標は河川流域内の灌漑田全体の平均渇水状況を示す 1 つの指標であつて，実際の干害発生確率を示すものではないことである．用

いた流量は 5 日間の移動平均値で（袁・佐藤<sup>(68)</sup>（1996b）は半旬平均日流量で日本の渇水流量を求めている）、5 日程度であれば、蒸発散量を下回る灌漑用水しか得られなくても、土層内に貯留された水を使ってイネが用水不足に耐えることは可能であるし、また逆に、渇水時流量以上の用水があっても、灌漑地区によっては標高差等の条件から用水が得られず一部で干害が発生することもありうる。

#### 4.3.2 モデル適用のための方策と諸条件の検討

##### （1）渇水時流量の求め方

分析には、各分析対象河川流域における山間部（山林）からの平均日流量が必要になる。ここで、河川流域の平均日流量は、各河川流域間の比較ができるよう、すべて平均日流量を流域面積で除した比流量（100 km<sup>2</sup> 当たりの m<sup>3</sup>/s）でおこなって表示することにする。

対象とした 4 つの主要河川流域ごとの山間部（山林）からの平均日比流量の計算は、各河川流域の山間部流域にある複数の流量観測地点（漢江：3 箇所、錦江：1 箇所、洛東江：6 箇所、蟾津江：1 箇所）の平均日流量をそれぞれ合計し、これをそれぞれの流量観測地点の流域面積の合計値で割って求めた（図 4-3）。

また、4 つの主要河川全体としての平均日比流量についても同様に、11 箇所の流量観測地点の平均日流量の合計値を観測地点の流域面積の合計値で割って求めた。

その際、複数の流量観測地点がある漢江と洛東江および 4 河川全体は、資料年数の短い観測地点に合わせてそれぞれ 13 年間（2001～2013 年）、12 年間（2002～2013 年）、12 年間（2002～2013 年）の平均日流量データを用いた。また、観測地点が 1 箇所の錦江と蟾津江の資料年数はそれぞれ 13 年間（2001～2013 年）、39 年間（1975～2013 年）の平均日流量データを用いた。

その上で、得られた各河川流域の平均日比流量について、各年ごとに水田灌漑期間の平均日比流量の最小値を求め、分析期間だけ得られた最小平均日比流量群についてワイブルプロットによって年非超過確率 1/10～9/10 の値を求め、これらを各年非超過確率の渇水時比流量とした。

また、山間部（山林）からの渇水時流量の総量は、上記の渇水時比流量に各流域の山林面積をかけて求めた（図 4-3）。流量観測地点の流域面積および河川流域ごとの山林面積は、韓国国土交通部<sup>(18)</sup>（2016）の WEB サイトの WAMIS から得た。

## （2）渇水時流量を分析する灌漑期間

渇水時流量や広域必要水量は灌漑期間内の時期によって変動するため、分析対象とする期間を定める必要がある。本研究では、佐藤<sup>(56)</sup>（2016）のモデルと同様に、普通期の夏期を分析対象とし、田植え期間は分析から外した。田植え期は、前年から春にかけて排水路をせき止める等して水田を排水不良状態にして田植えに備えることが可能であり、また、降雨や河川水の増加を待つて田植えを遅らせるといった人為的な対策がありえ、河川の渇水時流量と灌漑可能面積との関係がダイレクトには掌握しにくいいためである。

日本統治時代の韓国では、田植えは 5 月中旬から 6 月下旬の間に行われ、収穫は 9 月末から 10 月初旬の間だったとされている（韓国農村振興庁<sup>(21)</sup>，2004）。そのため、灌漑期間は 5～9 月とみて良いと考えられるので、本研究では分析対象期間（普通期の夏期）を 7～9 月とした。

また、以下で渇水時流量は、田植え期を除く夏期普通期について求めているため、「夏期渇水時流量」とした。

## （3）広域水田用水量の設定

本研究では、佐藤<sup>(56)</sup>（2016）が用いた灌漑田面積 1,000 ha に対し 1 m<sup>3</sup>/s 程度（8.6 mm/d）を広域水田用水量とした。この理由は、韓国の 7～9 月の水田からの蒸発散量は日本とほぼ同様の 5～7 mm/d であり（Jung et al. <sup>(12)</sup>，2007；韓国農村振興庁<sup>(21)</sup>，2004），また、広域水田地域内の宅地や畑地、林地等の水田以外の土地の分布には、日本と比較してそれほど大きな違いは見受けられないためである。

## （4）降雨の影響

灌漑田の利水安全度算定における水田への直接降雨の影響を検討するため、韓国

の分析対象期間中について、長期間、降雨量が 0 mm かそれに近い状態の発生状況を確認した。

すなわち、対象とした河川流域の平野部にある 9 箇所の雨量観測地点（漢江：3 箇所、錦江：2 箇所、洛東江：3 箇所、蟾津江：1 箇所）の日降雨量データを用いて、分析対象期間の 7～9 月に連続 20 日間の合計降水量が 0 mm、10 mm 以下、20 mm 以下、30 mm 以下になった年の発生頻度を求めた。期間を 20 日以上としたのは、夏期普通期（出穂期から穂ばらみ期）に 20 日間を超える連続干ばつが続くと収穫量が 10 %以上減少するとされているためである（韓国農村振興庁<sup>(21)</sup>，2004）。

結果を表 4-3 に示す。これより、降雨量 0 mm が 20 日間続いている年は 13～30 % の頻度で発生することがわかる。また、10 mm 以下の期間が発生する年は 47～59 %，20 mm 以下は 50～70 %，30 mm 以下は 63～80 % と、発生頻度が高い。10～30 mm は日平均だと 0.5～1.5 mm 程度であり、一般的に用いられる有効雨量の下限 5 mm/d（農林水産省農村振興局<sup>(51)</sup>，2014）と比べても小さく、ほぼ無降雨の状態と言える。

以上より、本研究でも水田への直接降雨は含めずに利水安全度を算定することとした。ただし、後の結果と考察で、利水安全度が極めて低い流域もあることが判明したため、そのケースについては 0.5～1.5 mm 程度の日降雨量を考慮した場合の利水安全度について付言した。

#### （5）流域外への灌漑用水の供給

このモデルでは、個々の流域における河川水の利用は当該河川の流域内にとどまり、流域外への灌漑用水等の供給はしないことを想定している。

この点については、1928 年に蟾津江に貯水池を建設して東津江流域に灌漑用水を送水した東津水利組合が、「五大河川では最初の流域変更式の水田灌漑地域」としており（韓国東津農地改良組合<sup>(14)</sup>，1975），これ以前には大規模な流域変更による灌漑事業はほとんどなかったものと推察される。なお、後の考察で、こうした流域変更があった場合についても附言した。

表 4-3 30 mm 以下の 20 日降水量の発生頻度（7～9 月）

流域名	観測地点	発生頻度 (発生年数/資料年数, %)				資料 年数	対象 期間
		0 mm	10 mm 以下	20 mm 以下	30 mm 以下		
漢 江	グロ	17	55	65	69	29	1987～ 2015
	ドポ	22	48	65	78	23	1993～ 2015
	ヨジュ	13	48	65	74	23*	1989～ 2015
錦 江	カンギオン	25	53	63	72	32*	1983～ 2015
	ゾチワオン	23	59	68	73	22	1994～ 2015
洛東江	サボル	17	56	61	67	18*	1997～ 2015
	ソンジュ	30	50	70	80	20	1996～ 2015
	ジンドン	16	47	58	63	19	1997～ 2015
蟾津江	ソンドン	14	50	50	71	14	2002～ 2015

資料：WAMIS（韓国国土交通部<sup>(18)</sup>，2016）

観測地点は、いずれも各流域の平野部に位置する雨量観測地点

\* 一部欠測年度があることを示す（ドポ：4 年（1998～2000, 2006），ヨジュ：1 年（1990），サボル：1 年（2012））



## 4.4 結果と考察

### 4.4.1 文献から求めた韓国近代前期の水田面積とその補正

韓国近代前期の水田面積および水源水利施設ごとの灌漑田面積等を表 4-4 に示す。ここでは、文献資料にあった堰および揚水機による灌漑田を、河川自流に依存する河川灌漑田とみなした。また、資料では水田面積の単位に「町歩」を使っているが、これは ha に換算した。

このうち蟾津江は、流域を構成する郡の灌漑田面積の一部（15 郡 13,144 ha のうち 3 郡 3,577 ha）で水源施設別の灌漑田面積がなかったため、水源施設別の灌漑田面積がわかっている 12 郡 9,567 ha の施設ごとの平均比率（貯水池 5 %, 堰等 95 %）を全灌漑田 13,144 ha にかけて得た面積を、蟾津江流域全体の水源施設ごとの灌漑田面積とした。

また、漢江流域の灌漑田は 1916 年の水源施設別の灌漑田面積が記載されていなかったため、他の 3 つの流域の水源施設別の灌漑田面積比の平均値（貯水池 21 %, 堰等 79 %）を漢江流域の灌漑田面積にかけて求めた。

なお、木下<sup>(31)</sup>（2014）が作成した、1916 年の朝鮮河川流域の灌漑水源施設箇所数の割合（貯水池：堰）の分布図を見ると、漢江と蟾津江は堰が 9 割を占めるのに対し、洛東江と錦江は 6 割程度にとどまっている。これより、上記の漢江の堰等による灌漑田の割合（79 %）は、実際より小さく見積もっている可能性がある。この点は河川灌漑田の利水安全度を検討する際に考慮する。

また、以後の考察のため、2007 年のデータ（韓国国土海洋部漢江洪水統制所<sup>(16)</sup>, 2009）も付記した。

ここで、許<sup>(9)</sup>（2016）は、1917 年以前の朝鮮全体の水田面積の統計データはいずれも補正が必要としている。すなわち、これらはいずれも朝鮮総督府統計年報が元になっていて、そこでは土地調査事業が終わる前の 1917 年までの朝鮮全体の水田面積は、調査不足のために実際よりも過小評価された面積になっている可能性が高いとし、その上で、統計資料にある 1917 年以前の朝鮮全体の水田面積は、朝鮮総督府

統計年報の「1918 年以降のある時点までの趨勢線をその前に延長して」補正するべき、としている。

また、日本統治時代の朝鮮全体の灌漑田面積については、「朝鮮河川調査書」と「朝鮮土地改良事業要覧」との間にギャップがあり、先行の朝鮮河川調査書の結果は調査不足のため、灌漑田面積を朝鮮全体で 17 万 7917 町歩分過小評価しているから、朝鮮河川調査書の各年の灌漑田面積にこの分を加えて補正するべき、としている。本研究で用いた治水及水利踏査書の 1916 年の灌漑田面積の合計は、朝鮮河川調査書の 1916 年のデータと一致しているから、同様の補正が必要になる。

そこで、以上 2 つの補正を表 4-4 に適用して 1916 年のデータを補正した。補正方法は下記のとおりである。

1) 水田面積：朝鮮総督府統計年報では 1918 年から 1928 年までの 11 年間で朝鮮全体の水田面積が約 60 千 ha 増加しているから、「趨勢線の延長」により 1916 年から 1928 年の 13 年間の増加面積は 70 千 ha とした。そして、朝鮮河川調査書にある 1928 年の流域別水田面積から、この 70 千 ha に「流域別水田面積 / 朝鮮全体の水田面積」をかけて得た面積をそれぞれ引いて、1916 年の流域別水田面積とした。朝鮮河川調査書の 1928 年の流域別水田面積は、朝鮮総督府統計年報と朝鮮河川調査書の 1928 年の水田面積（朝鮮全体）がほぼ一致しているから信頼性が高い。

2) 灌漑田面積：朝鮮全体で過小評価とされている灌漑田面積 17 万 7917 町歩（約 176,447 ha）に、「各流域の灌漑田面積 / 朝鮮全体の灌漑田面積」をかけて得た面積を各流域の灌漑田面積に加えて求めた。

3) 水源施設別の灌漑田面積：補正前の各流域の水源施設（貯水池、堰等）別の水田面積比で、2) の補正後の灌漑田面積を案分して求めた。

4) 天水田等の面積：補正後の水田面積から補正後の灌漑田面積を引いて求めた。  
補正後の水田面積等（表 4-4）より、韓国近代前期（1916 年）の主要河川流域の水田および灌漑田について、下記のことが言える。

1) 対象河川流域の水田面積は 615 千 ha に達しており、近代前期にすでに 2007 年以上の面積の水田が開発されていた。2) 水田面積のうち灌漑田が占める割合は約 27 %程度と低く、残りは天水田等が占めていた。3) 灌漑田のうち貯水池によるもの

の比率も約 22 %と低く，貯水池灌漑主体の現代（2007 年）とは大きく異なる．

表 4-4 各流域の水源施設別の水田面積

（単位：千 ha）

年度	区分	漢江	錦江	洛東江	蟾津江	合計
1916 （補正前）	水田	112	112	168	43	436
	天水田等	95	89	124	30	338
	灌漑田	18	23	44	13	98
	貯水池	4	2	13	1	20
	堰等	14	21	31	12	78
1916 （補正後）	水田	155	145	255	61	615
	天水田等	126	106	179	39	450
	灌漑田	29	39	76	22	166
	貯水池	6	5	25	1	36
	堰等	23	33	52	21	129
2007	水田	122	123	207	54	507
	天水田等	39	48	65	17	170
	灌漑田	83	75	142	37	337
	貯水池	30	49	93	30	202
	堰等	53	26	49	7	135

補正の際に小数第一位を四捨五入した

堰等は，堰と揚水機による灌漑田を示す

天水田等は，水田から灌漑田を除いた水田を示す

1916 年（補正前）：「治水及水利踏査書」（1920）より作成

1916 年（補正後）：「治水及水利踏査書」（1920）のデータを許<sup>(9)</sup>（2016）に基づき著者が補正した

2007 年の水田面積：「2008 年全国流域調査報告書」（韓国国土海洋部漢江洪水統制所<sup>(16)</sup>，2009）と WAMIS（韓国国土交通部<sup>(18)</sup>，2016）より作成

#### 4.4.2 各流域の夏期渇水時比流量

図 4-4 に分析対象とした主要 4 河川流域の夏期渇水時比流量（7～9 月）を示す．非超過確率 1/10 年の夏期渇水時比流量は  $0.17 \sim 0.37 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  で、9/10 年でも  $0.81 \sim 1.51 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  である．袁・佐藤<sup>(68)</sup> (1996b) によると、日本の河川では、灌漑期間（4～9 月）の非超過確率 1/10 年の渇水時比流量は  $0.80 \sim 2.01 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ （日本の場合は、貯水池湖面からの蒸発量を考慮していない値）だから、韓国の夏期渇水時比流量は日本と比べて極めて小さいと言える．

また、各河川流域でみると、漢江が他の流域と比べて  $0.1 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  程度大きくなっていることが目立つ．この要因の一つとして、7～9 月の漢江流域の降水量（約 800 mm）が、他の河川流域（約 680 mm）よりも多いことがある．韓国では 6 月～8 月にかけて梅雨になるが、梅雨前線は南から北に徐々に北上し（北は南より約 10～15 日程度で梅雨の始まりが遅い）、7～9 月は韓国北部にあることが多い．漢江流域は韓国の比較的北部にあるため、この時期に他の流域より降雨量が多くなり、そのため夏期渇水時流量も大きくなっているものと考えられる．

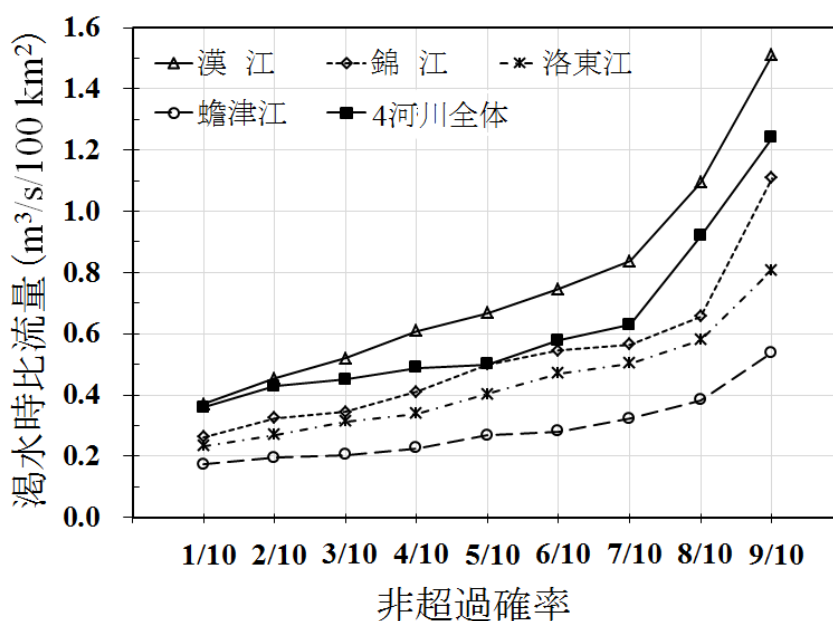


図 4-4 対象河川流域の夏期渇水時流量

#### 4.4.3 河川灌漑田の利水安全度

図 4-5 に、4 河川流域全体および各河川流域の河川灌漑田の利水安全度を示す。図の左側は式 (1) と図 4-4 より求めた利水安全度ごとの河川灌漑田面積、右側は表 4-4 で示した 1916 年の韓国近代前期の水田面積（水源施設別、補正前・後）であり、後者の河川灌漑田面積を前者の利水安全度ごとの水田面積と対応させて、各河川灌漑田の利水安全度を求めた。また、現代と比較するため、2007 年の韓国の水田面積（水源施設別）を加えた。

これより、4 河川流域全体でみると河川灌漑田の利水安全度は 1/10 よりも高いことがわかる。許<sup>(9)</sup>（2016）の補正によって河川灌漑田面積は 166 千 ha にまで拡大するが、それを考慮しても利水安全度は 1/10 以上である。また、漢江の灌漑田の内訳は他の河川流域の水源施設別の面積の平均値（河川灌漑が 79 %）を用いて算定したものだったが、これが仮に 100 %河川灌漑だったとしても、河川灌漑田の利水安全度は 1/10 よりもはるかに高い。

これを河川流域ごとに見ると、漢江の利水安全度が 1/10 よりも高い。漢江は夏期渇水時比流量だけでなく流域面積も大きいので、灌漑可能な面積が大きく見積もられる。そのため、この漢江の結果が影響して、主要 4 河川全体の利水安全度が 1/10 よりも高くなっている。

この要因として、夏期渇水時流量が他の河川流域と比べて大きいことに加え、漢江流域の平野部は洪水と高潮に襲われることが多く（金<sup>(23)</sup>, 1983; 金<sup>(27)</sup>, 1990）、平野部での灌漑田の開発が困難だったことが考えられる。また、「漢江・洛東江といった…これらの河川は下流部において超緩傾斜をなしており、自然の高低差を灌漑に利用にすることが不可能であったから、水源を揚水機に求めざるをえなかったのであると考えられる」（宮島・松本ら<sup>(47)</sup>, 1992）といった指摘もあることから、近代前期まで主流だった重力式で灌漑するためには、相当上流部に堰を設け、長大な導水路を建設する大規模な工事を伴うため、水源はあっても灌漑事業が困難であるという地形的な制約もあったと考えられる。

実際、1916 年と 2007 年の水田を見ると（表 4-5）、漢江流域は他の流域に比べて

河川灌漑田が大きく増加しており、このことから、漢江流域では 1916 年以降、まだ河川自流量に余裕があったが、治水上の問題や地理的制約等の、自流量以外の要因によって、水田開発が進まなかったことが推察される。また、図 4-6 のように 1918 年と 2014 年の水田面積の分布を見ると 1918 年の漢江流域((b)赤い四角形の部分)では水田がほとんどないものの、2014 年の同じ地域((a)赤い四角形の部分)には、水田が広く分布していることがわかる。

ここで、図 4-6 の 1918 年の水田面積の分布図は、1916 年から 1927 年の間に朝鮮総督府の陸地測量部によって発行した 5 万分 1 の地形図を用いて、2014 年の 25 万分の 1 の地形図に表示して作成したものである。この 5 万分 1 の図は、全国 59 つの圏域の 633 枚の地形図で構成されている。また、韓国（当時、南朝鮮）の部分にはほとんどが 1920 年以前（1918 年）に発行されているものである。

一方、漢江以外の河川流域の利水安全度は 3/10～9/10 程度と低く、特に錦江、蟾津江では 6/10～9/10 と極めて低い。このことは、韓国では 1910 年に日本の統治下になる以前から、漢江のように治水上・地形上の問題等で利水が困難だったケースを除くと、水田の開発は河川の夏期渇水時流量をほとんど使い尽くすまで進んでいたことを示唆する。

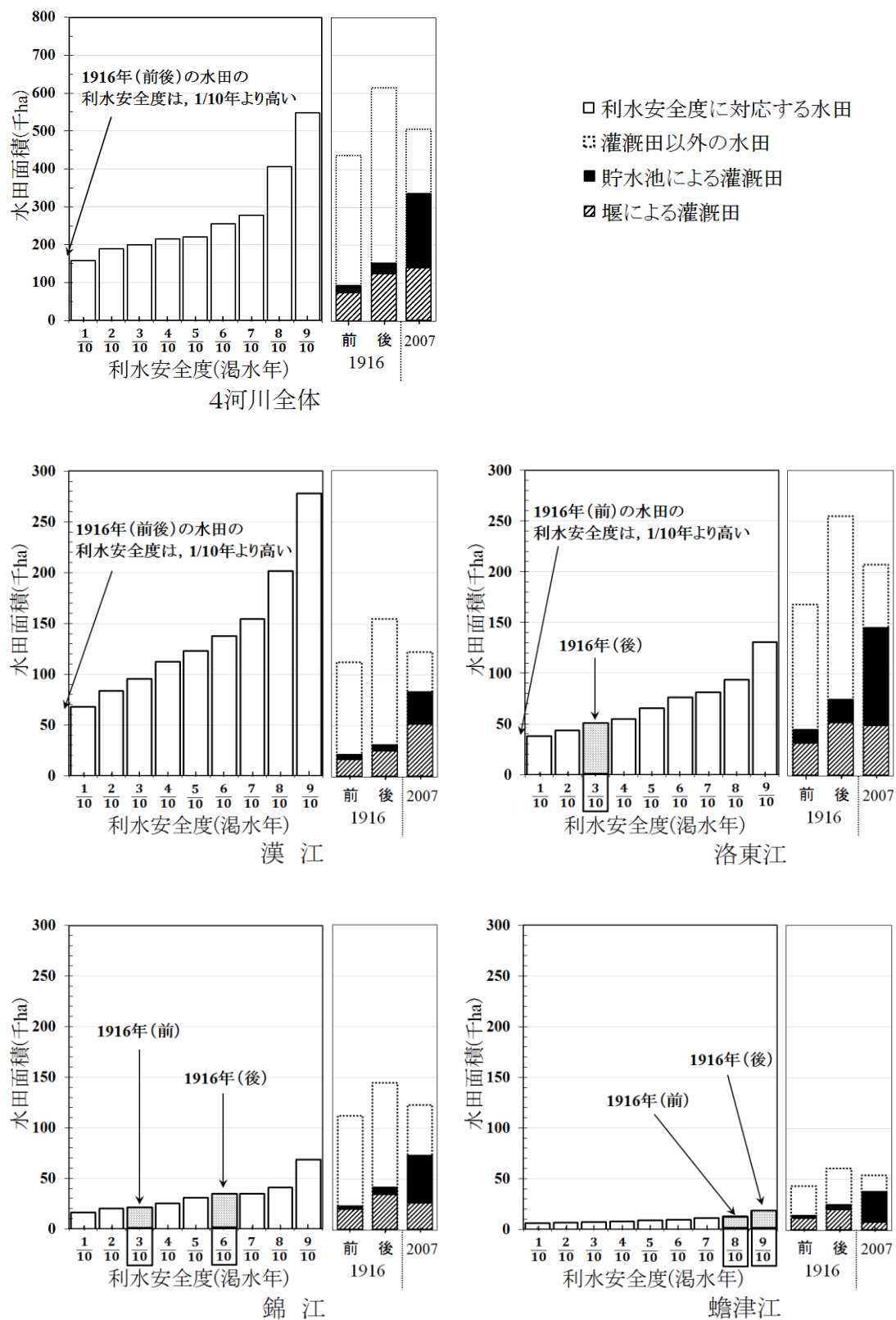
韓国では、利水上、河川灌漑田の開発は基本的には困難な状況で、利水安全度の高い灌漑田を確保するためには、貯水池の建設が必要だった。しかし、前章（第 3 章）の分析のように、韓国の主要河川は平均比流量が小さく、かつ渇水が長期間続くという特性から、同じ用水量を供給するのに必要なダムの貯水池容量が日本の数倍以上大きい。そのため、貯水池による灌漑田を大幅に増やすことも、日本に比べて利水上不利だった。

日本統治時代の水利組合による水源施設別灌漑事業の進展については、松本<sup>(43)</sup>（1991）および宮嶋・松本ら<sup>(47)</sup>（1992）が、当時の米価や米需要等の社会情勢、日本政府および朝鮮総督府の種々の政策、河川流域の地形条件、日本統治時代以前の水田開発の進捗状況等の背景を詳細かつ総合的に分析しているが、本研究で示した韓国河川の利水上の特性もその背景要因として考慮すべきと考える。

なお、4.3.2 の（3）で示したように、ここでの利水安全度は水田への直接降雨は

少ないものとして無視している。しかし、有効雨量を安全側でみて、20 日間で 30 mm の降雨（1.5 mm/d）が利用できるものとみなすと、水田の広域必要水量は、本研究で設定した広域水田水量 8.6 mm/d からこの有効雨量 1.5 mm/d を引いた値になる。この値で夏期渇水時流量を割って灌漑可能な水田面積を求めたところ、漢江流域を除く各河川流域の河川灌漑田の利水安全度は、洛東江で 2/10、錦江で 4/10、蟾津江は 9/10 となった（図 4-7）。このことから、有効降雨を安全側で考慮した場合でも、これら 3 つの河川の利水安全度は低いものと言える。

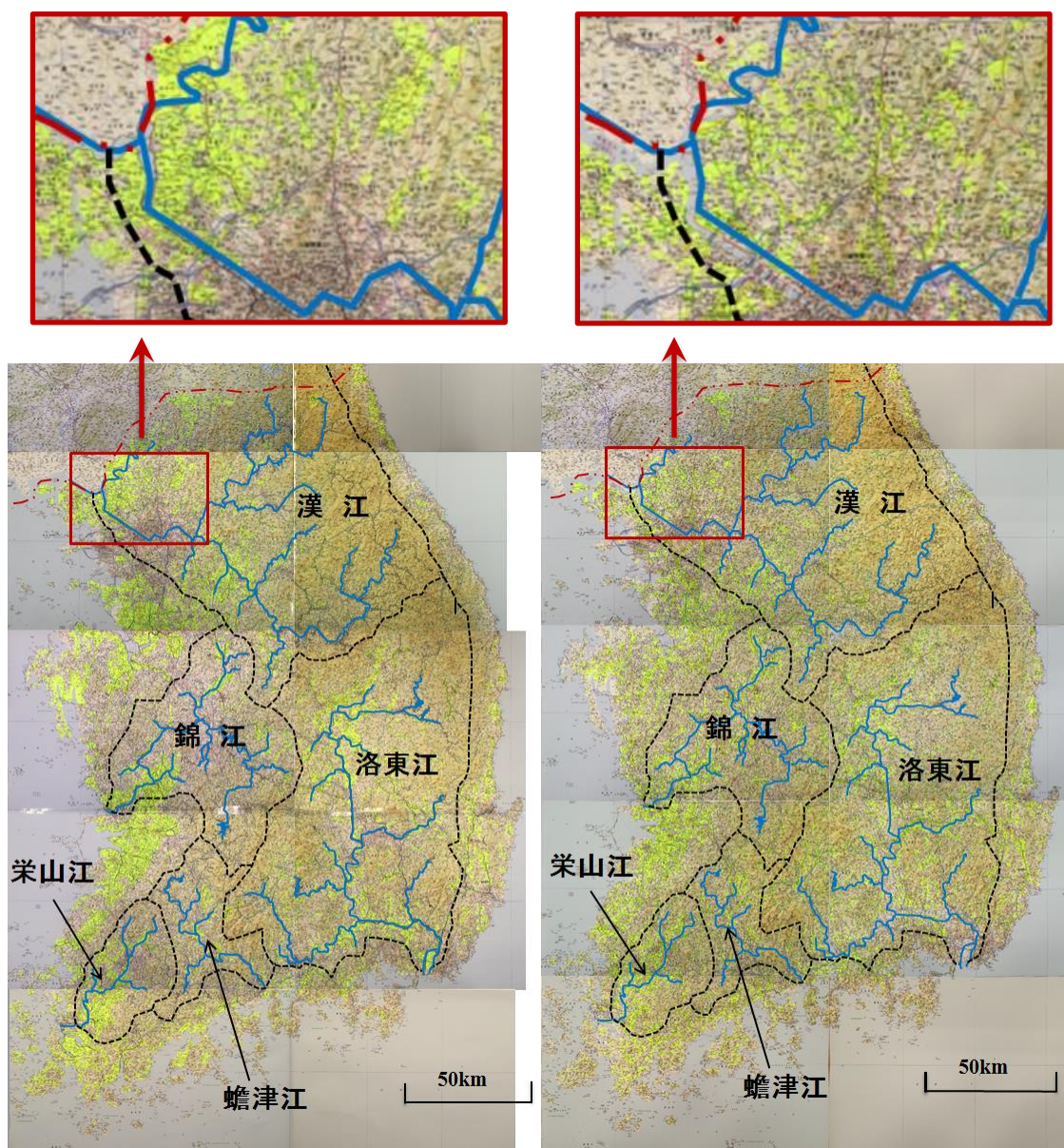
また、ここでは夏期渇水時流量をすべて河川灌漑田が使うものとしてその利水安全度を評価した。しかし、文献資料の「天水田等」には、堰や貯水池等の水源施設はもたないものの、谷地田のように山地からの流出を水田で利用しているものが含まれている可能性がある。また、貯水池による灌漑田では、渇水時でも貯水を温存し、河川の自流分を用水として利用するケースもありうる。さらに、前記の流域変更による他流域での用水利用も、なかったとは言えない。これらを考慮すると、河川灌漑田の利水安全度は、図 4-5 で得られた結果よりもさらに低いものになり、漢江を除く河川流域では、河川灌漑田の用水利用はきわめて厳しい状況にあったと言える。



注) グラフに表記した「後」は、許<sup>(9)</sup>(2016)の補正を考慮して修正した文献データを、  
 「前」は修正しなかったデータを示す

図 4-5 各河川流域の灌漑田の利水安全度



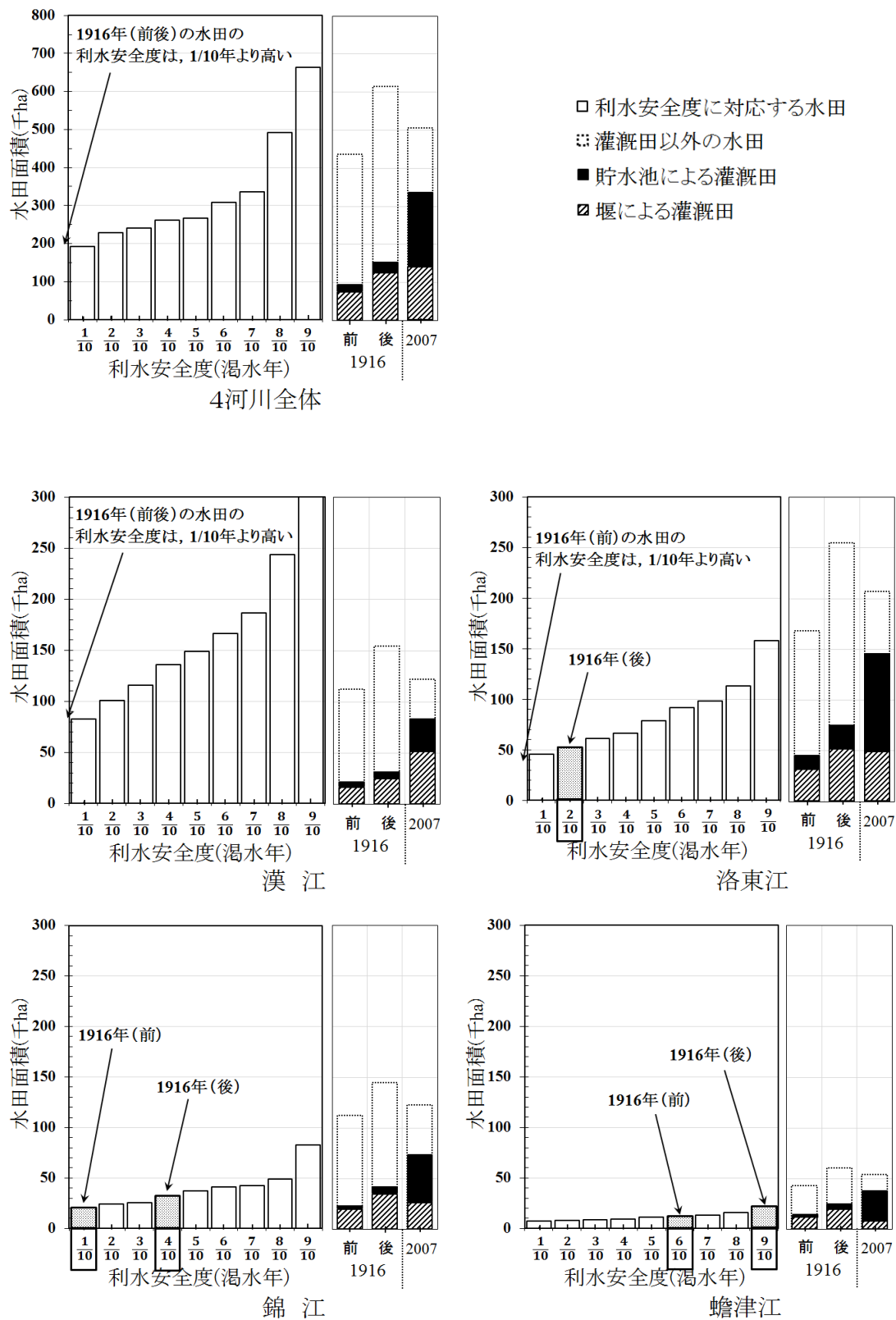


(a) 2014 年の水田分布図

(b) 1918 年の水田分布図

(注) 水田面積は、黄色で表示

図 4-6 2014 年と 1918 年の水田分布図



注) グラフに表記した「後」は、許<sup>(9)</sup>(2016)の補正を考慮して修正した文献データを、  
「前」は修正しなかったデータを示す

図 4-7 有効雨量を考慮した場合、各河川流域の灌漑田の利水安全度

#### 4.4.4 近代前期の韓国の水田の特徴～日本との違い

近代前期韓国の水田水稲作では、しばしば甚大な収穫減少を伴う干害があった。朝鮮河川調査書では、日本統治時代初期までの朝鮮では「千年には国を挙げて夥しき干害を蒙り、…朝鮮の米作は五年二作乃至三作を以て普通となし」とされ（朝鮮総督府<sup>(7)</sup>, 1929b), また, 1900 年は朝鮮全体で「植え付け不可能地が 44 万 ha, 枯死 25 万 ha」との記録もある（旗手<sup>(8)</sup>, 1979）。この点は、古くから「日照りに不作なし」と言われ、渇水年でも収穫が大きく減るような干害はほとんどなかった日本の水田農業（佐藤<sup>(56)</sup>, 2016）とは、大きく異なる。

この要因としては、表 4-4 で示したように、韓国では用水が不安定な天水田が広く分布していたことに加え、洛東江、錦江、蟾津江各流域で見られたように、利水安全度の低い（4/10～9/10）河川灌漑田が多かったことが考えられる。日本の灌漑田について本論文で用いた利水安全度を求めた研究はないが、現在の利水計画基準で見た場合、日本では「水利権制度が確立される以前に「5 年渇水年」程度の河川流量が既存の水田灌漑に使用されていた」（国際協力機構<sup>(32)</sup>, 2011）とされていることから、本論文で用いたより厳しい利水安全度（反復利用を徹底して管理用水等をゼロとし、広域用水量を 8.6 mm/d として求めた）は、上記の 3/10～9/10 よりは高かったものと推察される。

利水安全度の低い河川灌漑田や天水田が広く開発されていた背景要因としては、韓国では、当時コメの需要に対する河川の夏期渇水時流量の総量が、日本と比べて極めて少なかったことが考えられる。

すなわち、当時の韓国では、コメの需要を規定する総人口（1925 年：約 1,300 万人）は日本（同年：約 6,000 万人）の 1/5 程度だった（韓国統計庁<sup>(22)</sup>, 2016；総務省統計局<sup>(61)</sup>, 2016）。これに対し、灌漑田への用水供給源となる山地面積は、日本の約 2,303 万 ha（総務省統計局<sup>(62)</sup>, 2017）に対して韓国は約 655 万 ha（Agricultural Development Corporation<sup>(1)</sup>, 1983）で約 1/4 である。韓国の主要河川の非超過確率年 1/10 の夏期渇水時比流量の大きさは日本の河川の 2/5 程度だから、日本と同じ利水安全度（1/10）で開発可能な河川灌漑田面積は日本の 1/10 になる。人口あたり

の河川灌漑田開発可能面積は日本の 1/2 になるから、それだけではコメは需要に対して不足基調となり、利水安全度がより低いレベルまで河川灌漑田の開発が行われたことが考えられる。

また、新沢<sup>(60)</sup> (1986) が解明したように、灌漑田の開発には水利施設の建設という大きな投資を伴うため、あまりに低い利水安全率で干害が頻発するようでは投資の採算が合わない。そのため、当時の韓国では、灌漑水源施設投資をして採算がとれる限界の利水安全度まで灌漑田の開発が進められ、さらに、それでも不足するコメの需要に対しては、灌漑水源施設投資は不要だが干害の危険性が高い天水田によってまかなわれたのであろう。

#### 4.5 本章のまとめ

韓国近代前期の主要河川流域の河川灌漑田について、近年の河川流量が近代前期と比べて大きくは変化していないと仮定した上で、反復利用を徹底して無駄なく河川水を使った場合の「夏期利水安全度」を求めて分析し、以下の結果を得た。

1) 灌漑期間中 (7~9 月) の夏期渇水時比流量は、年非超過確率 1/10~9/10 に対して  $0.17 \sim 1.51 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  程度だった。これは日本の主要河川の灌漑期間の渇水時比流量と比べて 2/5 程度ときわめて小さい。

2) 河川灌漑田の利水安全度は、主要河川流域を平均すると 1/10 以上だった。これは、流域面積・流量とも大きい漢江で利水安全度が 1/10 以上だったことによる。

3) 漢江流域は利水安全度が高かった。その理由として、流域の平野部が治水上、水田開発が困難だったためと推測された。

4) 漢江以外の主要河川流域では、河川灌漑田の利水安全度は 1916 年の段階で 3/10 ~ 9/10 と低かった。この利水安全度の低さが、その後 1928 年までに河川灌漑田がほとんど増えなかったことの要因と推察された。

5) 韓国では利水安全度の低い灌漑田が多く、また天水田が広く分布していたため、日本と違って干魃によるコメの減収被害がしばしばあったが、その背景要因として、コメの需要に対して河川の安定的な渇水時流量の総量が日本と比べて極めて少ないことが推察された。

#### 4.6 （補論）田植えを考慮した場合の、河川灌漑田の利水安全度

本研究では 4.3.2 の（2）で示したように、田植え期は、渇水時に人為的な対策がありえ、河川の渇水時流量と灌漑可能な面積との直接な関係が成立されない可能性があるため、田植え期を分析から外した。しかし、文献によると 1900 年は朝鮮全体で「植え付け不可能地が 44 万 ha, 枯死 25 万 ha」との記録があり（旗手<sup>(8)</sup>, 1979）、田植え期間にも河川の渇水時流量に大きく制約されていることが予想される。したがって、田植え期を考慮した場合の、各分析流域の河川灌漑田の利水安全度を検討した。

##### 4.6.1 モデル適用のための方策と諸条件の検討

###### （1）渇水時流量とこれを分析する灌漑期間

渇水時流量の求め方は、基本的に 4.3.2 の（1）で示した方法と同様にした。ただし、日本統治時代の韓国では、田植えは 5 月中旬から 6 月下旬の間におこなわれたため（韓国農村振興庁<sup>(21)</sup>, 2004）、分析する灌漑期間は田植え期間を含めて 5～9 月とした。

図 4-8 に分析対象とした主要 4 河川流域の田植え期間を考慮した場合の渇水時比流量を示す。年非超過確率 1/10 の渇水時比流量は  $0.14 \sim 0.16 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ 、年非超過確率 9/10 では  $0.31 \sim 0.78 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  になることがわかる。4.4.2 で示したように年非超過確率 1/10 と 9/10 の夏期渇水時比流量はそれぞれ  $0.17 \sim 0.37 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  と、 $0.81 \sim 1.51 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$  であるため、夏期渇水時流量のほうが、田植え期を考慮した渇水時流量より約 1.5～2 倍に大きいことがわかる。また、この田植え期間を考慮した渇水時流量（5～9 月）が、日本の主要河川の 4～9 月間の年非超過確率 1/10 の渇水時比流量（貯水池湖面からの蒸発量は考慮しなかった値） $0.80 \sim 2.01 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ （袁・佐藤<sup>(68)</sup>, 1996b）と比べて極めて小さいと言える。

また、各河川流域でみると、4.4.2 の夏期渇水時流量の結果とは異なって、漢江の渇水時流量が他の流域とほとんど同じであることが目立つ。この要因の一つとしては、5～9 月の漢江流域の降水量（約 1,048 mm）が、他の河川流域（約 1,116 mm）

とほとんど同じであり，4.4.2 で記述した流域ごとの梅雨期間の違い（北は南より約10～15 日程度で梅雨の始まりが遅い）が，田植え期を考慮した渇水時流量の計算には影響を与えなかったためと考えられる．

## （2）広域水田用水量の設定

田植え期の広域水田用水量は，6.6 mm/d とした．これは 4.3.2 の（3）の広域水田用水量 8.6 mm/d に 2 mm/d（5～6 月と 7～9 月の水田の蒸発散量の差）を引いた値にする．韓国の 5～6 月と 7～9 月の水田からの蒸発散量はそれぞれ 3～5 mm/d，5～7 mm/d である（Jung et al. <sup>(12)</sup>, 2007；韓国農村振興庁<sup>(21)</sup>，2004）．

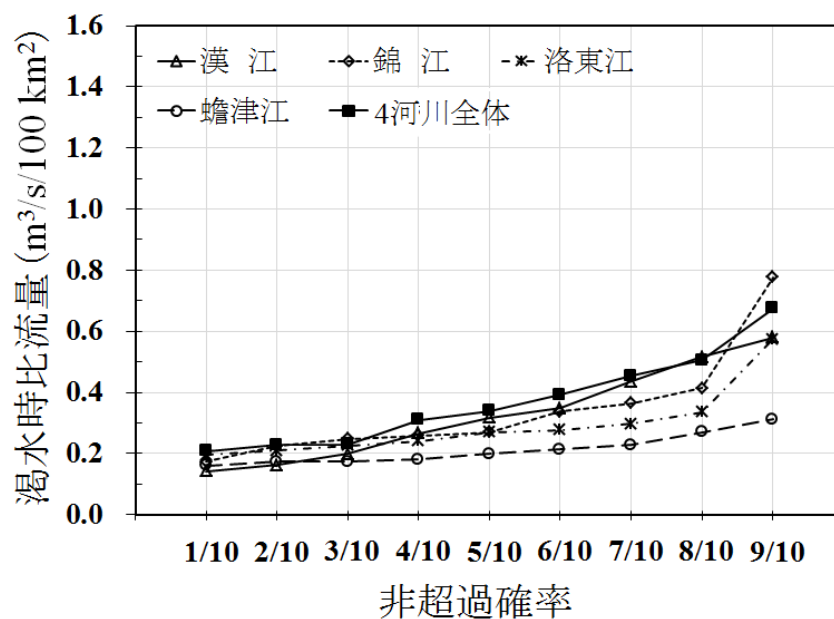


図 4-8 対象河川流域の渇水時流量

## （3）降雨の影響と流域外への灌漑用水の補給

田植え期間における河川灌漑田の利水安全度の算定では，降雨量を捨象することにする．それには，韓国の分析対象期間中（5～9 月）について，長期間にわたって



降水量がほとんどない状態が頻発しているかどうかを確認する必要がある。

そこで、4.3.2 の（４）のように、対象とした河川流域の平野部にある 9 箇所の雨量観測地点（漢江：3 箇所，錦江：2 箇所，洛東江：3 箇所，蟾津江：1 箇所）の日降雨量データを用いて、分析対象期間の 5～9 月に連続 20 日間の合計降水量が 0 mm, 10 mm 以下，20 mm 以下，30 mm 以下になった年の発生頻度を求めた。

結果を表 4-6 に示す。これよりおよそ 30 %の年で 0 mm, 90 %以上の年で 30 mm 以下の降水量になることがわかる。こうした 30 %の無降雨の日が続くことが多いのであるため、田植え期を考慮する河川灌漑田の利水安全度の算定には、水田への直接雨量は無視した。また、4.3.2 の（５）で示したように、流域外への灌漑用水等の供給はしないことを想定した。

#### 4.6.2 結果

図 4-9 に、4 河川流域全体および各河川流域の河川灌漑田の利水安全度を示す。田植え期を考慮した利水安全度を 4.4.3（図 4-5）と比較すると、洛東江は 4/10（田植え期を考慮しない場合，3/10），錦江は 6/10（同，4/10），蟾津江は 9/10 より低くなった（同，9/10）ことがわかる。また、漢江の河川灌漑田の利水安全度は変化がないものの、4 河川全体の利水安全度は 2/10（同，1/10 より高い）と低くなった。

このことから、田植え期を考慮した場合は、漢江流域を除く各河川流域における河川灌漑田の利水安全度は 4/10～9/10 となっており、少なくとも本研究で得られた結果（利水安全度 3/10～9/10）より高くはない。すなわち、田植えを考慮すると河川灌漑田の用水利用がさらに厳しい状況になったおり、本研究で得られた結果が安全側であると言える。

表 4-7 30 mm 以下の 20 日降水量の発生頻度（5～9 月）

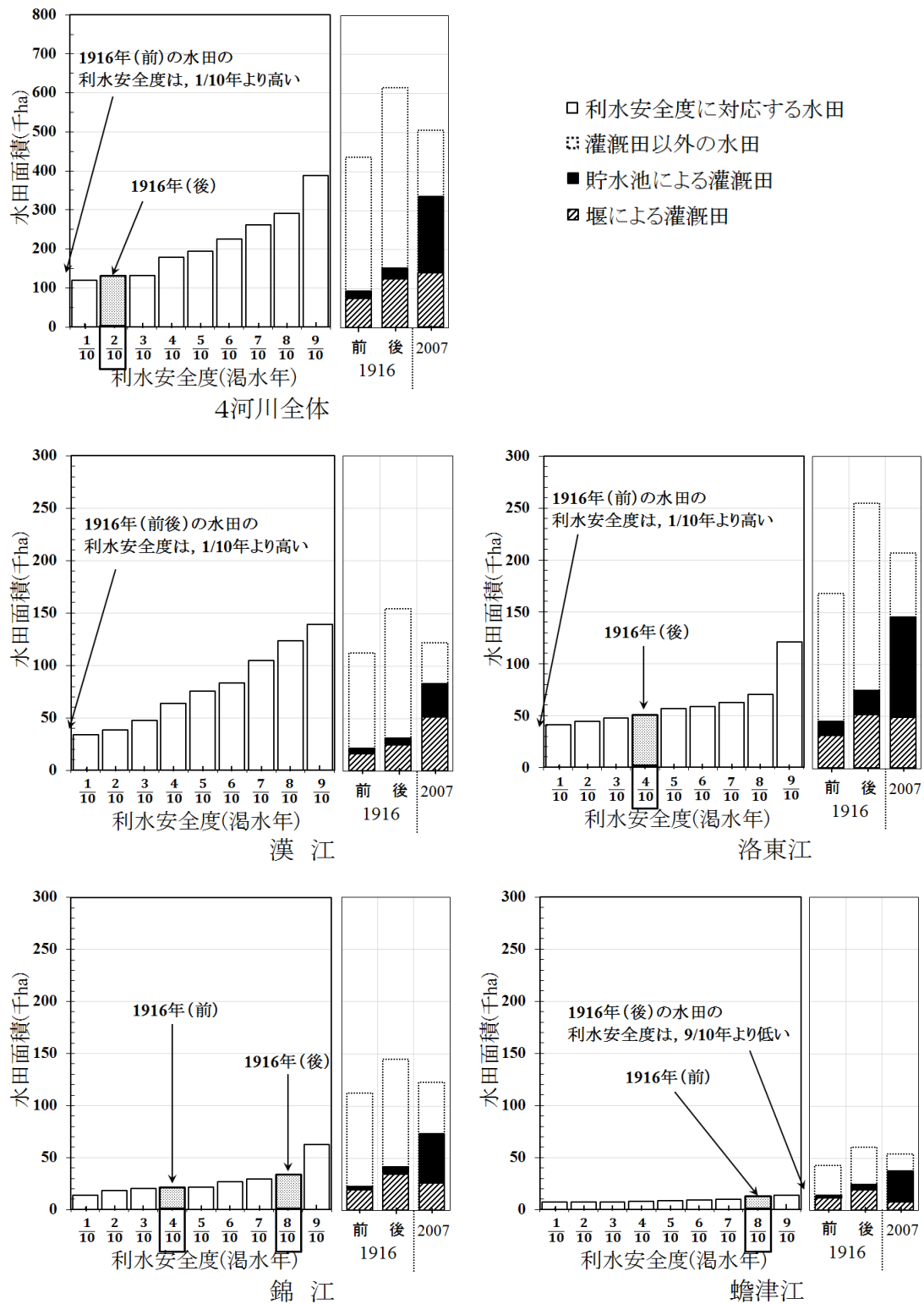
流域名	観測地点	発生頻度 (発生年数/資料年数, %)				資料 年数	対象 期間
		0 mm	10 mm 以下	20 mm 以下	30 mm 以下		
漢 江	グロ	38	83	93	93	29	1987～ 2015
	ドポ	30	78	96	100	23	1993～ 2015
	ヨジュ	30	70	100	100	23*	1989～ 2015
錦 江	カンギオン	31	81	91	97	32*	1983～ 2015
	ゾチワオン	41	77	95	100	22	1994～ 2015
洛東江	サボル	33	72	83	94	18*	1997～ 2015
	ソンジュ	45	75	95	95	20	1996～ 2015
	ジンドン	26	74	89	95	19	1997～ 2015
蟾津江	ソンドン	21	71	79	93	14	2002～ 2015

資料：WAMIS（韓国国土交通部<sup>(18)</sup>，2016）

観測地点は、いずれも各流域の平野部に位置する雨量観測地点

\* 一部欠測年度があることを示す（ドポ：4 年（1998～2000，2006），ヨジュ：1 年（1990），サボル：1 年（2012））





注) グラフに表記した「後」は、許<sup>(9)</sup>(2016)の補正を考慮して修正した文献データを、「前」は修正しなかったデータを示す

図 4-9 田植え期を考慮した場合、各河川流域の灌漑田の利水安全度

## 第5章 総合考察と総括

### 5.1 総合考察

韓国近代前期における主要河川流域の河川自流を用いた開発されていた河川灌漑田の利水安全度は、漢江流域を除き 3/10～9/10 程度と低く、特に錦江、蟾津江では 6/10～9/10 と極めて低かった。このことは、韓国では 1910 年に日本の統治下になる以前から、漢江流域のように治水上・地形上の問題等で利水が困難だったケースを除くと、水田の開発は河川の夏期渇水時流量をほとんど使い尽くすまで進んでいたことを示唆する。

#### 5.1.1 他の要因を考慮した利水安全度

なお、本研究では、有効雨量や田植え期間などの要因は考慮しなく、各分析河川流域における河川灌漑田の利水安全度を求め、灌漑田の特性を分析しているが、この要因だちを考慮した場合は下記のようなになる。

1) まず、本研究では、利水安全度は水田への直接降雨は少ないものとして無視している。しかし、有効雨量を安全側でみて、20 日間で 30 mm の降雨 (1.5 mm/d) が利用できるとみなすと、水田の広域必要水量は、本研究で設定した広域水田水量 8.6 mm/d からこの有効雨量 1.5 mm/d を引いた値になる。この値で夏期渇水時流量を割って灌漑可能な水田面積を求めたところ、漢江流域を除く各河川流域の河川灌漑田の利水安全度は、洛東江で 2/10、錦江で 4/10、蟾津江は 9/10 となった。このことから、有効降雨を安全側で考慮した場合でも、これら 3 つの河川の利水安全度は低いものと言える。

2) また、本研究では、田植え期は、前年から春にかけて排水路をせき止める等して水田を排水不良状態にして田植えに備えることが可能であり、稲の播種から幼苗育成までの過程を乾田の状態で管理する技術的な農法（いわゆる「乾沓法」と「乾秧法」）による春干ばつに対応（宮嶋<sup>(45)</sup>, 1981）、また、降雨や河川水の増加を待って田植えを遅らせるといったいろいろな人為的な対策がありえ、河川の渇水時流量と

灌漑可能面積とのダイレクトな関係が成立しない可能性があって、無視している。しかし、広域の水田地帯を対象にして田植え期間（5～6月）を考慮すると、この期間中の広域水田水量は、本研究で設定した広域水田水量 8.6 mm/d から 5～6月の蒸発散量（3～5 mm/d）と 7～9月の蒸発散量（5～7 mm/d）の差 2 mm/d を引いた値になる。この値で 5～6月の渇水時流量を割って灌漑可能な水田面積を求めたところ、漢江流域を除く各河川流域の河川灌漑田の利水安全度は、洛東江で 4/10、錦江で 6/10、蟾津江は 9/10 となっており、少なくとも本研究で得られた結果（利水安全度 3/10～9/10）より、高くはない。したがって、本研究で得られた結果は安全側である。

3) また、本研究では、夏期渇水時流量をすべて河川灌漑田が使うものとしてその利水安全度を評価した。しかし、文献資料の「天水田等」には、堰や貯水池等の水源施設はもたないものの、谷地田のように山地からの流出を水田で利用しているものが含まれている可能性がある（実際、著者が見学した韓国の天水田地域も山と山の間にある谷地田であった）。また、貯水池による灌漑田では、渇水時でも貯水を温存し、河川の自流分を用水として利用するケースもありうる。さらに、流域変更による他流域での用水利用も、近代前期時代にぜんぜんなかったとは言えない。これらを考慮すると、河川灌漑田の利水安全度は、本研究で得られた結果（利水安全度 3/10～9/10）よりもさらに低いものになり、漢江を除く河川流域では、河川灌漑田の用水利用はきわめて厳しい状況にあったと言える。そのため、本研究で得られた各河川流域における河川灌漑田の利水安全度の結果は安全側である。

#### 5.1.2 韓国近代前期の水田の、日本との違い

韓国では、利水安全度の低い河川灌漑田と天水田が広く開発されていた背景要因としては、韓国近代前期、当時のコメの需要に対する河川自流の夏期渇水時流量の総量が、日本と比べて極めて少なかったことが考えられる。

すなわち、当時の韓国では、コメの需要を規定する総人口は日本の 1/5 程度だった。これに対し、灌漑田への用水供給源となる山林面積は日本の約 1/4 程度で、非超過確率年 1/10 の夏期渇水時比流量は 2/5 程度だから、日本と同じ利水安全度（非超過確率年 1/10）で開発可能な河川灌漑田面積は日本の 1/10 になる。これより、人

口あたりの開発可能な河川灌漑田面積は日本の 1/2 になるから、それだけでは、コメは需要に対して不足基調となり、利水安全度がより低いレベルまで河川灌漑田の開発が行われたことが考えられる。

また、新沢<sup>(60)</sup> (1986) が解明したように、灌漑田の開発には水利施設の建設という大きな投資を伴うため、あまりに低い利水安全率で干害が頻発するようでは投資の採算が合わない。そのため、当時の韓国では、灌漑水源施設投資をして採算がとれる限界の利水安全度まで灌漑田の開発が進められ、さらに、それでも不足するコメの需要に対しては、灌漑水源施設投資は不要だが干害の危険性が高い天水田によってまかなわれたのであろう。

#### 5.1.3 貯水池中心の水田開発が遅かった理由

本研究で検討したように、韓国の河川自流の渇水時流量は極めて小さいため、河川自流を利用した灌漑田の開発は基本的には困難である。そのため、利水安全度の高い灌漑田を確保するためには、貯水池の建設が必要だった。しかし、韓国の主要河川は平均比流量が小さく、かつ渇水が長期間続くという特性から、河川から同じ一定流量を供給するのに必要なダム貯水池容量が日本の数倍以上大きい。ここで、ダムの建設には、建設コスト、技術水準など大きな投資が必要になり、韓国ではダム建設によって水田を開発する場合、水源手当のためのコストがよりかさんでおり、その資金と高い水準の建設技術がなかった韓国近代前期には貯水池による灌漑田を大幅に増やすことができなかったと考えられる。

実際、韓国では 1960 年代までは、貯水池による灌漑水田は 30 %程度だったとされているが (Lee<sup>(36)</sup>, 1964), 1970~80 年代に国際機関の資金援助を受けて大規模多目的ダム群が建設され、貯水池灌漑田が 60 %に増加している (韓国農漁村振興公社<sup>(20)</sup>, 1999)。その背景条件として、河川の流量特性によるダム建設の難しさがあると考えられる。

## 5.2 総括

本研究は、地形的気候的に日本と比較的よく似た韓国の主要な河川を対象に、それらが水田灌漑利用の視点からみてどのような流量の特性を持つのかを日本の主要河川と比較分析して検討した。また、その結果をもとにして、韓国近代前期の河川自流利用段階における、実際の開発されていた河川灌漑田の利水安全度を求め、その結果から、韓国近代前期における河川灌漑田等の、開発過程の利水上の特徴を日本と比較して検討した。

その結果、次のことが明らかになった。

1) 年非超過確率 1/10 で評価した韓国の河川は水田灌漑期間（4～9 月）の渇水時比流量が  $0.1\sim0.2\text{ m}^3/\text{s}/100\text{ km}^2$  程度で、日本の約 1/10 と極めて小さい。その要因は、韓国では日本と比べて非灌漑期である 10～3 月の降水量が極めて少なく、山地流域の地質が影響している可能性があると推定される。

2) 水田灌漑期間中に河川から一定流量を供給するために必要なダム計画貯水池容量は、日本の河川の数倍以上と大きい。それは、河川の平均流量が小さいことだけでなく、ダムからの補給期間が長いという流量特性による。

3) 韓国は日本と比べ、河川の自流で安定的に開発できる水田面積は小さく、またダムで用水を補給する場合も、より規模の大きいダムを建設する必要があるという不利な条件を持つ。こうした河川水資源の制約が、韓国のこれまでの水田開発を強く制約してきたと考えられる。

4) 水田灌漑期間中（7～9 月）の夏期渇水時比流量は、年非超過確率 1/10～9/10 に対して  $0.17\sim1.51\text{ m}^3/\text{s}/100\text{ km}^2$  程度と、日本の主要河川に比べきわめて小さい。

5) 漢江を除き水不足の年発生確率が 30～90 %で利水安全度が低く、韓国近代前期で夏期渇水時流量をほぼ使いきって灌漑田が開発されていた。

6) 漢江流域の河川灌漑田の利水安全度が高いのは、他河川より夏期渇水時流量が大きいのにに対して、治水上、地理上等の問題で開発できる水田に限られたことが原因として推察された。

7) 韓国では、日本と違って利水安全度の低い灌漑田が多く、また天水田が広く分

布していたため、干魃によるコメの減収被害がしばしばあった。

8) 利水安全度の低い灌漑田と天水田が多かった背景要因として、コメの需要に対して河川の安定的な渇水時流量の総量が日本と比べて極めて少ないことが推察された。

## 引用文献

- (1) Agricultural Development Corporation (1983) : Yearbook of Land and Water Development Statistics 1983, Ministry of Agriculture & Fisheries Republic of Korea Agricultural Development Corporation, p.15.
- (2) Choi, J. (2007) : Function of Environmental Flows for Sustainable Water Resources Management, Journal of environmental policy, 6(2), 44-70.
- (3) 朝鮮総督府 (1910～1944) : 各年版 朝鮮総督府統計年報.
- (4) 朝鮮総督府 (1920) : 治水及水利踏査書, 朝鮮総督府, 67-644.
- (5) 朝鮮総督府 (1925～1931 ; 1936～1938 ; 1946) : 朝鮮土地改良事業要覧.
- (6) 朝鮮総督府 (1929a) : 朝鮮総督府統計年報, p.86.
- (7) 朝鮮総督府 (1929b) : 朝鮮河川調査書, 朝鮮総督府, 407-420.
- (8) 旗手 勲 (1979) : 農業土木史, 農業土木学会, 182-193.
- (9) 許 粹熱 (2016) : 植民地初期の朝鮮農業－植民地近代化論の農業開発論を検証する－, 明石書店, 183-220.
- (10) International Rice Research Institute (2007) : “Welcome to IRRI’s Rice production Course!”, The importance of rice, [http://www.knowledgebank.irri.org/ericeproduction/bodydefault.htm#Importance\\_of\\_Rice.htm](http://www.knowledgebank.irri.org/ericeproduction/bodydefault.htm#Importance_of_Rice.htm) ( 参照 : 2016/09/14 ).
- (11) Jung, C. (2008) : Regional Characteristics of Cheon during the Late Choson Era as Seen through the <Yojitoso>, Journal of the Korean Geographic Society, 43(6), 620-627.
- (12) Jung, H., Kim, S., Kim, J., No, J., Park, K., Son, J., Yoon, K., Lee, K., Lee, N., Jung, S., Choi, J., Choi, J. (2007) : 第 2 版灌漑排水工学, 東明社, 71-76

(原文は韓国語) .

- (13) 科学技術庁資源調査会 (1965) : 水資源の変動様相に関する調査報告, 資源調査会報告第 34 号, 7-104.
- (14) 韓国東津農地改良組合 (1975) : 東津農地改良組合五十年史, 東津農地改良組合, p.72.
- (15) 韓国建設交通部漢江洪水統制所 (2007) : 実時間水管理システムの構築研究 (3 次) 報告書, 建設交通部漢江洪水統制所, 76-85 (原文は韓国語) .
- (16) 韓国国土海洋部漢江洪水統制所 (2009) : 2008 年全国流域調査報告書, 国土海洋部漢江洪水統制所, 677-683 (原文は韓国語) .
- (17) 韓国国土海洋部 (2013) : 水資源長期総合計画 (2011~2020), 国土海洋部, 10-11 (原文は韓国語) .
- (18) 韓国国土交通部 (2016) : 流量観測地点の日平均流量データ, 雨量観測地点の日降雨量データ, 河川流域の山地面積データ, 流入量の求め方などを検察, WAMIS 国家水資源管理総合情報システム, <http://www.wamis.go.kr/> (参照 : 2016/09/14, 原文は韓国語)
- (19) 韓国農漁村振興公社 (1998) : 農業生産基盤整備事業計画設計基準 「灌漑編 (基準及び便覧)」, 農漁村振興公社, 78-112 (原文は韓国語) .
- (20) 韓国農漁村振興公社 (1999) : 大単位農業総合開発総覧, 農漁村振興公社, 26-72 (原文は韓国語) .
- (21) 韓国農村振興庁 (2004) : 近世韓国農業経営技術史, 農村振興庁, 39-176 (原文は韓国語) .
- (22) 韓国統計庁 (2016) : 道別面積, 人口および家具数, [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1IN2501&conn\\_path=I2](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1IN2501&conn_path=I2) (参照 : 2016/11/14, 原文は韓国語)



- (23) 金 儀遠 (1983) : 韓国国土開発史研究, 大学図書, 445-473.
- (24) Kim, H. (1991) : On the types of Traditional Irrigation Arrangement and its Geographical distribution in Lee Dynasty, Doctoral Thesis, Sungshin Women's University, 1-3.
- (25) Kim, H., Won L. (2001) : 錦江 (龍潭, 公州, 窺岩) の水文資料を用いた基底流出分離方式による地下水開発可能量の予備算定, Korean Society of Soil and Groundwater Environment Conference in 2001, 143-147 (原文は韓国語) .
- (26) Kim, J., Lee, M., Kong, W., Kim, T., Kang, C. (2006) : 韓国の自然地理, Seoul National University Press, 1-8 (原文は韓国語) .
- (27) 金 萬亨 (1990) : 韓国の河川地形, 古今書院, 16-92.
- (28) Kim, S. (1969) : 李朝前期における水田農業の研究, 文教部学術研究報告書 (原文は韓国語) .
- (29) Kim, S. (2002) : 農業用水の効率的利用及び管理方案, 農漁村と環境 75, 14-21 (原文は韓国語) .
- (30) 金 容燮 (1965) : 朝鮮後期の水稻作技術: 移秧と水利問題, 亞細亞研究 8(2), 281-305 (原文は韓国語).
- (31) 木下晴一 (2014) : 古代日本の河川灌漑, 同成社, 200-224.
- (32) 国際協力機構 (2011) : 技術協力コンテンツ「日本の農民参加型灌漑管理組織」, <https://stream.jica-net-library.jica.go.jp/jn944/60337080082222559454794712702659236776.pdf> (参照 : 2017/01/21) .
- (33) 国土交通省 (2016) : “Water Information System 水文水質データベース”, 観測所諸元からの検索, <http://www1.river.go.jp/> (参照 : 2016/09/14).
- (34) Lee, C., Lee, G., Park, S., Choi, H. (2010) : Runoff Characteristics Analysis of Drought Season in the Geumgang River Basin, Korea Water Re-

sources Association Conference in 2010, 1298-1306.

- (35) Lee, D., Hong, I., Kim, N., Seo, B. (1994) : An Analysis of Historical Precipitation data for Water Resources Planning, 韓国水文学会誌, 27(3), 71-82.
- (36) Lee, E. (1964) : 食糧増産と天水田処理に関する提言, The Research and Guidance 5(2), 61-67 (原文は韓国語) .
- (37) 李 鎬澈 (1986) : 朝鮮前期の農業経済史, hagilsa, 362-363 (原文は韓国語) .
- (38) Lee, J., Woo, H. (1992) : 我が国の主要河川の流況分析, 第 34 回水工学研究発表会論文集, 177-186 (原文は韓国語) .
- (39) 李 光麟 (1961) : 李朝水利史研究, 韓国研究図書館, 14-29.
- (40) 李 相潤, 石井 敦, 申 文浩, 谷口智之, 佐藤政良 (2017) : 水田灌漑用水利用からみた韓国の河川の流量特徴, 水文・水資源学会誌, 30(2), 掲載予定.
- (41) Lynsley RK, Franzini JB. (1979) : Water Resources Engineering. Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 152-157.
- (42) 牧 隆泰 (1972) : 農業土木学の始祖 上野英三郎博士の足跡, 農土誌, 40(1), 47-59.
- (43) 松本武祝 (1991) : 植民地期朝鮮の水利組合事業, 未来社, p.192.
- (44) Mays LW. (2001) : Water Resources Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York, 398.
- (45) 宮嶋博史 (1981) : 李朝後期における朝鮮農法の発展. 朝鮮史研究会論文集, 18, 64-94.
- (46) 宮嶋博史 (1983) : 李朝後期の農業水利－ 堤堰（溜池）灌漑を中心に－. 東

- 洋史研究, 41(4), 1-51.
- (47) 宮嶋博史, 松本武祝, 李 榮薫, 張 矢遠 (1992) : 近代朝鮮水利組合の研究, 日本評論社, 30-32.
  - (48) Ministry of Agriculture & Fisheries of Republic of Korea and Korea Agriculture Development Corporation (1971; 1976; 1981; 1986; 1991; 1996) : Yearbook of Land and Water Development Statistics.
  - (49) Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries and Korea Rural Community Corporation (2001; 2006; 2012) : Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
  - (50) 虫明功巨, 高橋 裕, 安藤義久 (1981) : 日本の山地河川の流況に及ぼす流量の地質の効果, 土木論集 309, 51-62.
  - (51) 農林水産省農村振興局 (2014) : 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説計画「農業用水 (水田)」, 農業農村工学会, 144-166.
  - (52) 岡本雅美 (2001) : 農業水利と河川水利の諸問題 (その 2), JAGREE information (61), 14-21.
  - (53) Park, C. (1996a) : Estimation of the Available Amount of Groundwater in South Korea—Development of the Method—, Journal of the Korean Society of Groundwater Environment 3(1), 15-20.
  - (54) Park, C. (1996b) : Estimation of the Available Amount of Groundwater in South Korea—Application of Five Major River Basins—, Journal of the Korean Society of Groundwater Environment 3(1), 21-26.
  - (55) 佐藤政良 (2010) : 改訂 7 版農業農村工学ハンドブック (本編), 農業農村工学会, 147-161.
  - (56) 佐藤政良 (2016) : 日本の水田灌漑における水管理の特徴——発展途上国の

水管理改善を念頭に－, JACEM, 62, 5-10.

- (57) Smakhtin VU. (2001) : Low flow hydrology: a review, Journal of Hydrology 240(2001), 147-186.
- (58) 志水俊夫 (1980) : 山地流域における湧水量と表層地質・傾斜・植生との関係, 林業試験場研究報告第 310 号, 109-128.
- (59) 新沢嘉芽統 (1962) : 河川水利調整論, 岩波書店, 222.
- (60) 新沢嘉芽統 (1986) : 農産物価格論, 有斐閣, 167-178.
- (61) 総務省統計局 (2016) : 都道府県, 男女別人口, <http://www.stat.go.jp/data/cho/02.htm> (参照 : 2016/11/14) .
- (62) 総務省統計局 (2017) : 都道府県, 地形・傾斜度別面積, <http://www.stat.go.jp/data/nenkan/back60/01.htm> (参照 : 2017/01/16) .
- (63) 鮮于仲皓 (2002) : 水文学, 東明社, 28-29.
- (64) 菅原正巳 (1968) : 水の利用率と貯水池の大きさ, 水利科学 60, 39-66.
- (65) 須藤定久 (2006) : 日本における各種岩石・地層の分布と分布比率, 骨材資源調査報告書 2006 年度, 56-65.
- (66) Won, L., Kim, H., Han, C. (2000) : 洛東江 (鎮東, 倭館) の水文資料を用いた基底流出分離方式による地下水開発可能量の算定 (原文は韓国語), Korean Society of Soil and Groundwater Environment Conference in 2000, 157-157.
- (67) 袁 新, 佐藤政良 (1996a) : 一定流量を取水するために必要な貯水池容量の性質－ダム利水容量による河川時系列の評価 (I)－, 農土論集 181, 123-130.
- (68) 袁 新, 佐藤政良 (1996b) : 日本の河川流量における計画貯水池容量の性質－ダム利水容量による河川時系列の評価 (II)－, 農土論集 182, 117-124.

## 謝辞

本論文は、私が本学生命環境科学研究科で8年間（2009年4月～2017年3月）にわたって行った研究の成果を中心にまとめたものです。研究の遂行、論文の執筆、そして日々の生活においても多大なるご協力と温かいご支援を下さった多くの方々のおかげです。ここに記して、謝意を表します。

研究を進めるにあたり、指導責任教員としてご指導頂いた本学生命環境科学研究科国際地縁技術開発科学専攻石井敦教授、私が本大学に入学してから今までご指導頂いた本大学佐藤政良名誉教授には、研究者として研究に取り組む姿勢から考え方まで細かなご指導を頂きました。また、何度も夜分遅くまで研究の相談に乗って頂き、お忙しい中、熱心にご指導を頂き誠に感謝しております。

本論文をまとめるにあたり、本学生命環境科学研究科国際地縁技術開発科学専攻瀧川具弘教授、同専攻宮本邦明教授、九州大学農学研究院環境農学部門谷口智之助教、農研機構東北農業研究センター（福島研究拠点）申文浩主任研究員には副査を引き受けていただき、論文中の主張のあり方からケアレスミスに至るまで、多くの貴重なご指摘、ご助言を頂きました。厚くお礼申し上げます。

韓国での現地調査を行うにあたり、韓国農漁村公社群山支社水資源管理部 KIM Panseong 課長、韓国農漁村公社の職員の皆様、韓国益山農民会 YOON Yangjin 氏、SONG Jeyu 氏は大変温かいご協力を頂きました。皆様のご協力によって、本研究をまとめることができました。厚くお礼申し上げます。

本学利水工学研究室の現役生、OB・OGの皆様とは、共に学び、励まし合い、ゼミでは多くの貴重なご指摘、ご助言をいただき、数え切れないほどの思い出を作ってきました。深く感謝し、お礼申し上げます。

勉学を続けてできたのはお世話になった皆様にはのおかげでございます。お世話になった皆様には、この場を借りて、改めて厚くお礼申し上げます。本当にありがとうございます。

また、多方面にわたり私を助け、学生生活を応援し続けてくれた両親、姉夫妻、

そして学生である私を信じ，結婚を許して下さい，ご支援下さった妻・ミヒの両親，姉妹，いつもお祈りで応援してくれたつくば希望教会の牧師先生と希望教会の皆様には心から感謝します．また，神様，誠に感謝します．

最後に，いつも近くで私を信じ，祈りと応援してくれた愛する妻・ミヒに感謝します．どうもありがとう．

2017 年 3 月

李 相潤

- <sup>1</sup> Agricultural Development Corporation (1983)
- <sup>2</sup> Choi, J. (2007)
- <sup>3</sup> 朝鮮總督府 (1910~1944)
- <sup>4</sup> 朝鮮總督府 (1920)
- <sup>5</sup> 朝鮮總督府 (1925~1931 ; 1936~1938 ; 1946)
- <sup>6</sup> 朝鮮總督府 (1929a)
- <sup>7</sup> 朝鮮總督府 (1929b)
- <sup>8</sup> 旗手 勲 (1979)
- <sup>9</sup> 許 粹熱 (2016)
- <sup>10</sup> International Rice Research Institute (2007)
- <sup>11</sup> Jung, C. (2008)
- <sup>12</sup> Jung, H., Kim, S., Kim, J., No, J., Park, K., Son, J., Yoon, K., Lee, K., Lee, N., Jung, S., Choi, J., Choi, J. (2007)
- <sup>13</sup> 科学技術庁資源調査会 (1965)
- <sup>14</sup> 韓国東津農地改良組合 (1975)
- <sup>15</sup> 韓国建設交通部漢江洪水統制所 (2007)
- <sup>16</sup> 韓国国土海洋部漢江洪水統制所 (2009)
- <sup>17</sup> 韓国国土海洋部 (2013)
- <sup>18</sup> 韓国国土交通部 (2016)
- <sup>19</sup> 韓国農漁村振興公社 (1998)
- <sup>20</sup> 韓国農漁村振興公社 (1999)
- <sup>21</sup> 韓国農村振興庁 (2004)
- <sup>22</sup> 韓国統計庁 (2016)
- <sup>23</sup> 金 儀遠 (1983)
- <sup>24</sup> Kim, H. (1991)
- <sup>25</sup> Kim, H., Won L. (2001)
- <sup>26</sup> Kim, J., Lee, M., Kong, W., Kim, T., Kang, C. (2006)
- <sup>27</sup> 金 萬亨 (1990)
- <sup>28</sup> Kim, S. (1969)
- <sup>29</sup> Kim, S. (2002)
- <sup>30</sup> 金 容燮 (1965)
- <sup>31</sup> 木下晴一 (2014)
- <sup>32</sup> 國際協力機構 (2011)
- <sup>33</sup> 国土交通省 (2016)
- <sup>34</sup> Lee, C., Lee, G., Park, S., Choi, H. (2010)
- <sup>35</sup> Lee, D., Hong, I., Kim, N., Seo, B. (1994)
- <sup>36</sup> Lee, E. (1964)
- <sup>37</sup> 李 鎬澈 (1986)
- <sup>38</sup> Lee, J., Woo, H. (1992)
- <sup>39</sup> 李 光麟 (1961)
- <sup>40</sup> 李 相潤, 石井 敦, 申 文浩, 谷口智之, 佐藤政良 (2017)
- <sup>41</sup> Lynsley RK, Franzini JB. (1979)
- <sup>42</sup> 牧 隆泰 (1972)
- <sup>43</sup> 松本武祝 (1991)
- <sup>44</sup> Mays LW. (2001)
- <sup>45</sup> 宮嶋博史 (1981)
- <sup>46</sup> 宮嶋博史 (1983)
- <sup>47</sup> 宮嶋博史, 松本武祝, 李 榮薰, 張 矢遠 (1992)

- <sup>48</sup> Ministry of Agriculture & Fisheries of Republic of Korea and Korea Agriculture Development Corporation (1971; 1976; 1981; 1986; 1991; 1996)
- <sup>49</sup> Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries and Korea Rural Community Corporation (2001; 2006; 2012)
- <sup>50</sup> 虫明功巨, 高橋 裕, 安藤義久 (1981)
- <sup>51</sup> 農林水産省農村振興局 (2014)
- <sup>52</sup> 岡本雅美 (2001)
- <sup>53</sup> Park, C. (1996a)
- <sup>54</sup> Park, C. (1996b)
- <sup>55</sup> 佐藤政良 (2010)
- <sup>56</sup> 佐藤政良 (2016)
- <sup>57</sup> Smakhtin VU. (2001)
- <sup>58</sup> 志水俊夫 (1980)
- <sup>59</sup> 新沢嘉芽統 (1962)
- <sup>60</sup> 新沢嘉芽統 (1986)
- <sup>61</sup> 総務省統計局 (2016)
- <sup>62</sup> 総務省統計局 (2017)
- <sup>63</sup> 鮮于仲皓 (2002)
- <sup>64</sup> 菅原正巳 (1968)
- <sup>65</sup> 須藤定久 (2006)
- <sup>66</sup> Won, L., Kim, H., Han, C. (2000)
- <sup>67</sup> 袁 新, 佐藤政良 (1996a)
- <sup>68</sup> 袁 新, 佐藤政良 (1996b)