

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K01159

研究課題名(和文) 霞ヶ浦水収支に係わる水文量の空間分布構造とその40年間の変化

研究課題名(英文) Spatial distribution of water balance components of Lake Kasumigaura and its change over 40 years

研究代表者

杉田 倫明 (SUGITA, Michiaki)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：80235887

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：霞ヶ浦の現在の水収支を、既存の測定値のある流量などはデータを収集し、測定値が存在しない蒸発量や農業用量などは独自に推定を行うことで求め、これを過去の推定値と比較することで違いを明らかにした。降水量、蒸発量、河川流量などは顕著な差はないのに対し、工業用水、上水用などの取水量は増加、農業の水利用量は若干の減少であることが分かった。用水量の変化は工業化や流域人口の増加などを反映したものと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果、気候変化や土地利用変化の影響が大きくは霞ヶ浦の水収支に影響を与えていないことがわかり、これは水資源量の増減による社会生活への影響を考慮しなくてもさしあたり問題がないことを示している。また、湖の水収支は扱う項目が多岐にわたり、きちんと推定されていない場合がほとんどであるが、本研究はそれを行った点、過去と比較した点に学術的な意義がある。また、個々の項目を推定する上で得られた新しい知見、今後の研究につながる課題を見いだした点も重要である。

研究成果の概要(英文)：We determined the current water balance of Lake Kasumigaura by combining available data such as river discharge and our own estimates of lake evaporation, agricultural water use, etc. The results were compared with the estimates in the past. It was found that natural hydrologic components such as precipitation, evaporation, and river discharge were not very different while artificial water use such as industrial water or domestic water increased due to change in watershed population and social structure.

研究分野：水文学

キーワード：熱収支 水収支 霞ヶ浦 湖沼

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

一般に、ある流域や水体に係わる水循環過程を明らかにすることは、地域の自然環境を理解する上で極めて重要である。また霞ヶ浦については、国内第2位の面積をもち、水資源、水環境に大きな影響を持つにもかかわらず、一部の水収支項を扱った研究を除くと包括的に水収支研究の対象とされたのは、村岡(1981)の一例のみである。一方で、村岡(1981)の扱った1970年代から40年ほどが経過し、その間に、流域の土地利用変化、霞ヶ浦開発事業や常陸川水門の閉鎖など多くの水循環、水収支に影響を及ぼす変化が生じている。さらに、この40年程は、平均気温上昇、降水の極端事象の発生頻度の増加などに代表される急激な気候変化が生じた時期に当たり、その水循環等への影響評価は科学的に極めて重要なテーマとなっている。以上、土地利用などによる流域内部の変化要因、気候変化に代表される流域外部の変化要因がともに急激に変化したことから、現在の水収支を評価することが高く望まれた。

### 2. 研究の目的

本研究科課題では、霞ヶ浦を対象として現在の水収支を明らかにすること、過去40年間の水収支変化を明らかにするとともに、その変化要因を明らかにすることを目的としている。

### 3. 研究の方法

霞ヶ浦の水収支項として、降水量、蒸発量、河川流入・流出量、地下水流入・流出量、工業用水の取水・排水量、生活用水の取水・排水量、農業用水の取水・排水量および霞ヶ浦の貯水量をあげることができる。これらを行政機関などが行っている測定値や統計データの収集、独自に行う測定、そして様々な手法による推定を組み合わせることで、現在の10年間について月単位で求める。これと村岡(1991)の1970年代の水収支と、比較することで過去40年程度の間の水収支の変化を得る。得られた結果をまとめることで、40年間の水収支の変化とその要因を明らかにする。

### 4. 研究成果

#### 4-1. 概要

全体として、降水量、蒸発量、河川流量などは自然的な水文学には顕著な差はないのに対し、工業用水、上水用などの取水量は増加、農業の水利用量は若干の減少であることが分かった。用水量の変化は工業化や流域人口の増加などを反映したものと考えられた。本研究の結果、気候変化や土地利用変化の影響が大ききは霞ヶ浦の水収支に影響を与えていないことがわかり、これは水資源量の増減による社会生活への影響を考慮しなくてもさしあたり問題がないことを示している。また、湖の水収支は扱う項目が多岐にわたり、きちんと推定されていない場合がほとんどであるが、本研究はそれを行った点、過去と比較した点に学術的な意義がある。一方、課題も明らかになった。それは、過去の研究と比較する際の方法の違いである。一部については、方法の違いからくる違いと、40年間の実際の変化を切り分けられたが、現在のより精度の高い方法を過去に適用するには、過去のデータが不足して不可能なものがあることが分かった。これらについては、得られた過去と現在の差に推定方法の違いから生じた部分が含まれている可能性があり、今後の検討が必要と判断された。

#### 4-2. 霞ヶ浦湖面フラックス分布

国内外の研究と比較して、極めて新しい知見が得られたのが、この部分である。従来、湖面からの蒸発は測定が難しく、湖の周辺で測定

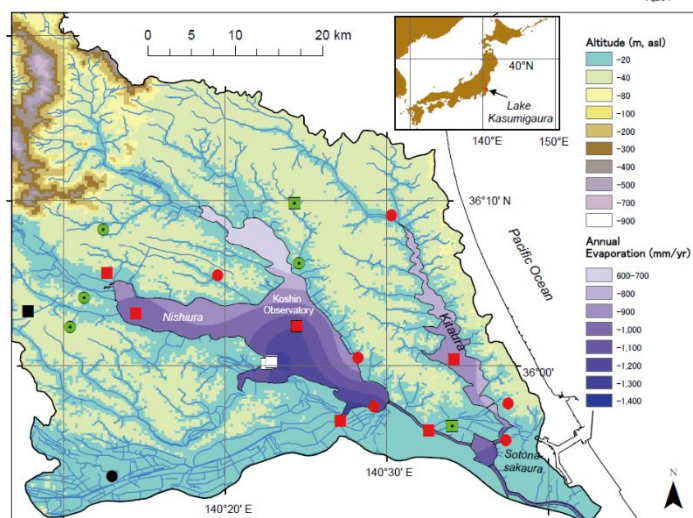


図1 霞ヶ浦の年蒸発量の空間分布 (Sugita et al., 2015)

された気象要素を利用した推定が行われてきた。本研究では、霞ヶ浦中央部に最新の測定装置を設置して10年以上の期間で実測値を得ることができ、その平均値911 mm/年は従来の推定値(671-1003 mm/年)と比較して、夏から秋に大きめ、冬から春先に小さめであることが分かった。

さらに、観測値は測定場所の周辺1 km程度の範囲の蒸発量を代表するが、霞ヶ浦全体の蒸発量分布を新たに開発した方法で推定したところ、湖の中央部で大きな蒸発量、周辺域で小さな蒸発量が生じることが分かった(図1)。すなわち、1点のみの測定値では湖全体の蒸発量を必ずしも代表できるわけではないことが示された。

この知見をさらに詳細に調べるため、放射量、顕熱、潜熱、湖水への熱流入量などの熱収支項についても空間分布をもとめた。こちらについても明瞭な空間分布が得られ、風上から風下にかけて、風速が増加することに伴い、顕熱、潜熱輸送量が大きくなること、放射量の空間的な差は小さいこと、結果として水中への熱流入も風下から風上で変化することなどが分かった。すなわち、空間分布の主要な支配要因は、風速分布であることが確かめられた。

なお、このような空間分布の状況を、船舶に測定器を搭載して直接的に求める方法を検討、予備調査を行い、可能性を確かめられた。このため、本研究課題に続けて、あらたな研究課題としてこの方向をすすめることになった。

#### 4-3. 農業用水

農業用水の利用実態は、水利権として上限が定められている以外は統計資料などが存在しない。このため、本研究では、現地調査とアンケートにより、作物(水田とハス田)、灌漑方法(循環灌漑、取水のみ、排水のみ、取排水)、年間のスケジュールを明らかにするとともに、降水量、蒸発散量の各圃場レベルでの推定値と灌漑方法ごとに定めたモデルを適用することで、霞ヶ浦と直接水のやり取りがある全圃場について、取水、排水量を推定することができた。また、霞ヶ浦周辺では概ね同様な作付けが行われていることが分かったが、ハス田については、冬期も作付けが続くことで、継続して水の出入りがあることが、特徴的である。水田の場合は、冬期は水の動きが、降雨、浸透、蒸発散以外には基本的にないと考えられる。

結果を40年前の推定値と比較すると、循環灌漑が増加したこと、取水量、排水量ともに微減していることが明らかになった。農地面積は大きく減少しているにもかかわらず、用水量は意外に変化が小さいのは、灌漑方法の違いが影響していると思われる。

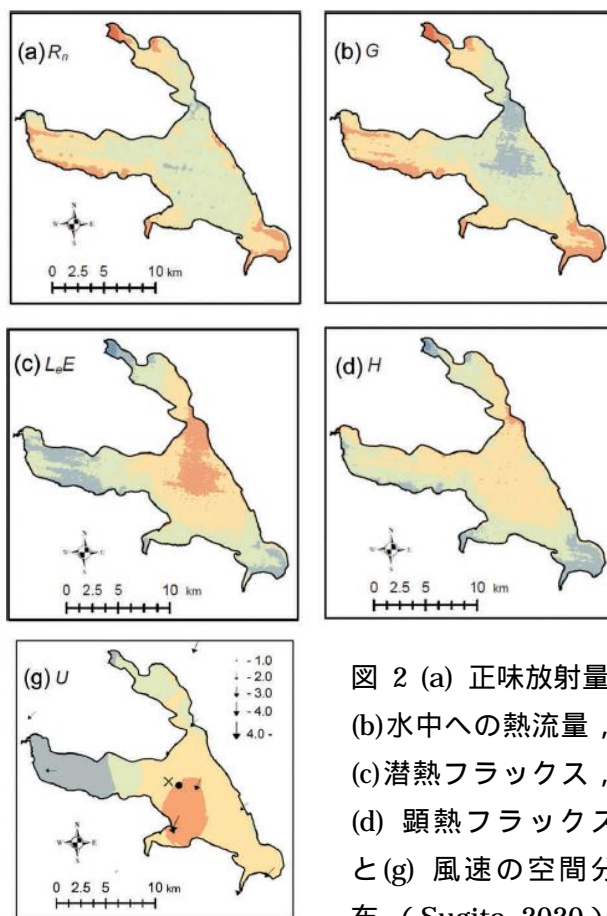


図2 (a) 正味放射量, (b) 水中への熱流量, (c) 潜熱フラックス, (d) 顕熱フラックスと(g) 風速の空間分布 (Sugita, 2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 杉田倫明	4. 巻 45
2. 論文標題 研究を通じた国際協力で求められる水文科学の役割と方法論	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 日本水文科学会誌	6. 最初と最後の頁 73-84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4145/jahs.45.73	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Wei, Z., Miyano, A., and Sugita, M.	4. 巻 160
2. 論文標題 Drag and bulk transfer coefficients over water surfaces in light winds	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Boundary-Layer Meteorology	6. 最初と最後の頁 319-346
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10546-016-0147-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Sugita, M.	4. 巻 65
2. 論文標題 Spatial variability of the surface energy balance of Lake Kasumigaura and implications for flux measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrological Sciences Journal	6. 最初と最後の頁 410-414
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/02626667.2019.1701676	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 杉田 倫明
2. 発表標題 霞ヶ浦の水循環と水収支
3. 学会等名 第17回世界湖沼会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉田 倫明
2. 発表標題 霞ヶ浦と山中湖における湖沼水収支の全項目解明の試み
3. 学会等名 平成30年度第4回水資源セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉田倫明・小川信平・河出麻里奈
2. 発表標題 霞ヶ浦西浦における水面熱収支の時空間変化
3. 学会等名 日本水文科学会2019年度学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugita, M.
2. 発表標題 Radiation, energy and water balance of a shallow, medium-sized lake in humid environments
3. 学会等名 Guest lecture, School of Engineering of Nazarbayev University (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----