

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月30日現在

機関番号：12102
 研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2009～2012
 課題番号：21310005
 研究課題名（和文） 霞ヶ浦湖面フラックスの評価と湖面蒸発量水平分布のモデル化
 研究課題名（英文） Study on surface fluxes of Lake Kasumigaura: horizontal distribution of lake evaporation
 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

研究成果の概要（和文）：

霞ヶ浦を対象に、水面フラックスを5年間にわたって求め、水面の交換過程のパラメタリゼーションを行った。結果として得られたバルク係数は、中～高風速域では既存の結果と同様であったが、弱風時には、風速減少とともに係数が大きくなる結果が得られた。さらに、蒸発量の空間分布を湖面温度と霞ヶ浦周辺の気象観測所の気象データから推定した。湖心部で蒸発量が多く、湖岸は小さいことが分かった。湖心の強風域が主要因であった。

研究成果の概要（英文）：

Surface fluxes have been measured at the center of Lake Kasumigaura. The bulk coefficients were in agreement with those reported in the literature under mid- to high wind speed ranges. However, in the weak wind speed range, bulk coefficient of momentum was found to increase as the wind speed decreased. Horizontal distribution of annual evaporation (E) was determined with that of surface temperature, wind and humidity data estimated with meteorology data in and around Lake Kasumigaura. It was found that E was the largest at Lake center, with smaller values toward the coastal lines. This was due to the stronger wind regime at the center.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	6,200,000	1,860,000	8,060,000

研究分野：水文学、境界層気象学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：霞ヶ浦、大気・水面間フラックス、湖面蒸発

1. 研究開始当初の背景

霞ヶ浦の湖面と大気間のフラックスに関しては、これまでの研究の対象は水資源量の評価との関係から水蒸気フラックス（蒸発）を推定しようとするものがほとんど全てであった。これまでに、村岡（1981）による蒸発パンによる月蒸発量の推定、近藤（1994）による気象官署のデータを用いたモデルによる月蒸発量の推定などが行われているが、実際の測定に基づく検証は行われていなかった。湖面上の実測としては Mitsuta et al. (1970) をあげられるが、数日の試験観測であるため、検証に用いるには不十分である。同様に、二酸化炭素フラックスについても短期間についての測定は存在するものの、通年の長期データ得られていない。熱、運動量についてはさらに研究例が少ないのが現状であった。

一方、水面と大気間の交換過程一般については、海洋、湖沼、実験室内など様々な場で研究が行われ、水平均一場については、波の役割の解明を除くとその物理プロセスが概ね解明されたといえる。しかし、隣接した陸面の影響を受けた場での交換過程については、陸面から水面というステップ変化時に生じる大気の流れと内部境界層の発達という枠組みでの研究は進められてきたものの、特定の場に対する適用例は多くない。さらに、湖水の流動までを考慮に入れた研究はこれまでに行われていない。以上、水面と大気の交換過程の一般に関してはその3次元的な取り扱いの不十分さ、霞ヶ浦に代表される水面での観測が少ないことを指摘された。

応募者はこれまでにプレーリー地域 (Sugita and Brutsaert, 1990 ほか)、タイの熱帯季節林 (Tada and Sugita, 2003 ほか)、スウェーデンの森林・湖沼複合地域 (Mölder et al., 1995 ほか)、つくばの都市化地域 (Sugita et al., 1999 ほか) やモンゴルのステップ草原 (Sugita et al., 2007 ほか) など、様々な地域での地表面と大気間の交換過程の研究に携わってきた。これらの観測に基づく交換過程の解明と環境動態の詳細な解明の一方で、広域の蒸発量、熱交換などの動態の解明には、モデルと観測データの併用によりその実態を明らかにしてきた (Sugita et al., 2001 など)。その中で、研究の進展が遅れてきたのが水面での研究である。これはこの分野全体の傾向でもあり、その主な原因は、測定の難しさにある。水面での交換過程を長期観測により明らかにするには、十分に広い水面での

観測が必要であり、そのためには湖沼や海洋の中央部に観測機材を設置する必要があるが、実際にはそのような地点では観測用タワーの設置は困難なため、不十分な条件での沿岸部での観測等しか行われてこなかったのである。霞ヶ浦の場合、国土交通省霞ヶ浦河川事務所が水質、気象モニタリングのために湖心部に観測所を設置しており、今回の目的には最適なタワーとして利用可能である。幸い担当部署である霞ヶ浦河川事務所の理解が得られ、機材の設置が認められすでに15カ月ほどの予備観測を実施中である。今回、これらの実績の元に、研究計画をまとめたものである。

2. 研究の目的

4カ年の研究期間中に明らかにすべき点は以下の3点である。

- (1) 霞ヶ浦を対象に、その湖心部において湖面と大気間の熱、水蒸気、運動量、二酸化炭素フラックスを乱流測定により3年間に渡り求め、その季節変化、経年変化を明らかにすると同時に、大気と水面の交換過程の特に波の効果に注目したパラメタリゼーションを行う。
- (2) 衛星リモートセンシングにより湖水面温度分布が求められる場合を対象に、霞ヶ浦全域における蒸発量の空間分布を明らかにする。得られた結果と周辺の気象条件、霞ヶ浦内部の水流推定値から、空間分布の形成メカニズムを推定する。
- (3) 得られた(1)、(2)の結果に基づき、気象データを入力として任意の期間の霞ヶ浦から蒸発量水平分布を与えるモデル化を行う。

3. 研究の方法

研究目的に合わせ、図1に示すように大別して2つの解析を進める。1つは霞ヶ浦中央部に位置する湖心観測所でのフラックス観測の実施で3年間の継続を予定している。これからフラックスの時間値が得られ、その積算値として日量、月量、年総量(平均)が算出される。また、フラックスデータと同時に観測される気象データを解析することで、水面と大気間の輸送係数であるバルク輸送係数が得られる。一方、広域の蒸発量分布を得るために、衛星(Landsat ETM+, MODIS)の熱赤外面像、気象庁、霞ヶ浦河川事務所の周辺気象データを利用した解析を行い、衛星通過時の霞ヶ浦の蒸発量分布を求める。この結果と湖水の流動状況を風速の関数として与える湖水流動モデル、内部境界層モデル出力を組み合わせることで、蒸発量分布のメカニズムを解明し、最終的に推定モデルを作成することで、任意の時刻、季節に対する蒸発量分布が得られるようにする。

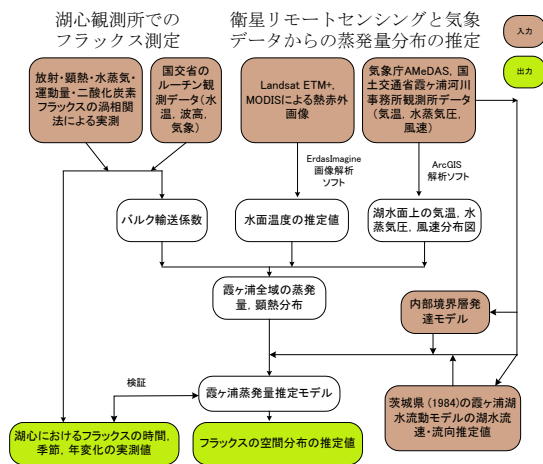


図1 研究の流れ

4. 研究成果

(1) フラックスの長期観測結果とバルク輸送係数

霞ヶ浦湖心部における約5年間の熱、運動量、水蒸気フラックスの観測値を用いて、湖面におけるバルク輸送係数を算出した。得られた結果(図2)を既存の海洋で得られた係数と比較すると、高さ10mの風速が概略2m/s以上の場合には良く一致することが分かった。一方、2m/sより弱い弱風時には風速の

減少に伴い、運動量のバルク輸送係数が大きくなることが分かった。乱流のスペクトル解析や境界層高さの解析結果を基に、このバルク係数の増加が、ある平均化時間の風速とフラックスが代表する時間、空間スケールが弱風時には異なるために生じることが確かめ

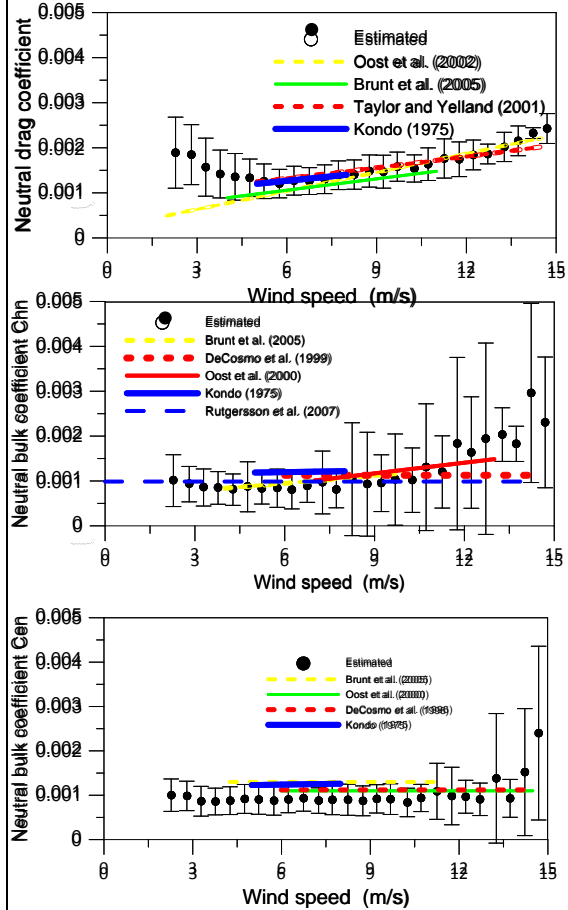


図2 バルク輸送係数と風速の関係

られた。たとえば、平均化時間30分程度の場合、風速は局所的な乱流を反映するのに対し、フラックスは局所スケールに加え、境界層スケールの運動も一部含んでいる。結局、求めたいフラックスが何を表すかによりバルク輸送係数の値も変わってくるということが分かった。これらの結果を基に、3年間の湖面における熱、水蒸気フラックスを求めることができた。

(2) 蒸発量の空間分布の推定

水平分布を得られる利点のある衛星データを用いて霞ヶ浦の湖面温度分布を算出し、それ以外の気象データを霞ヶ浦周辺の気象観測所から収集して蒸発量分布の推定を行った(図 3)。その上で蒸発分布に影響する気象要因の解明、年蒸発量分布の推定を行った。結果として、衛星データから算出された水面温度分布は季節によって空間的差異がやや生じるものの全域での温度差は 1~2℃程度となり、蒸発量推定の気象要因としての水面温度分布の影響は小さいことがわかった。一方、湖上風分布が蒸発量分布に最も大きな影響を与える要因であることが示された。湖面蒸発は一様に分布する場合と非一様に分布

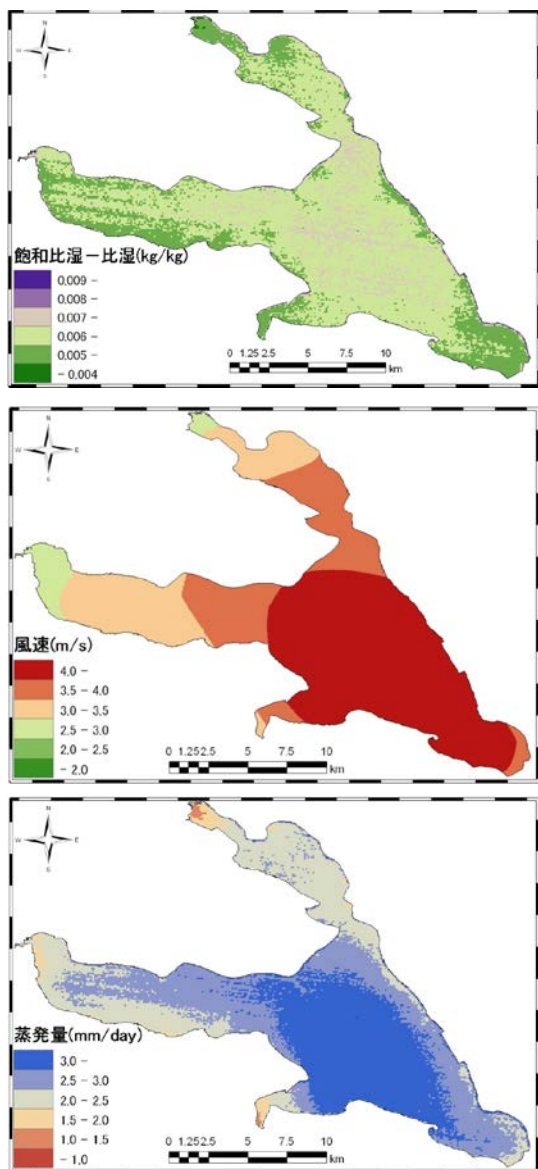


図 3 霞ヶ浦周辺の気象観測データの内挿、衛星観測、湖心観測から求められた水蒸気フラックスの湖面分布。

する事例が同程度の割合で生じ、分布を考慮した上で求めた湖面全域平均は 878 (mm/y) となった。

(3) 蒸発推定モデル

図 2 例を示したように、入力として、霞ヶ浦内と周辺域の気象データを入力として Kriging 方により内挿処理・グリッド化を行うことで、任意の時刻に対する各グリッドの蒸発量を算出出来るようになった。同時に風速、気温、湿度、バルク係数の各グリッドの値も得られているので、蒸発量の分布要因などを解析するためにも利用することが出来る。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Sugita, M. and Brutsaert, W., Recent low-flow and groundwater storage changes in upland watersheds of the Kanto region, Japan, Journal of Hydrologic Engineering, 査読有, 14, 2009, 280-285 doi: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2009)14:3(280)
- ② Sugita, M., Kato, H., Kotani, A. and Toda, M. (2009): How universal is the C function in the bulk ABL similarity approach for estimating surface sensible heat flux?, Water Resources Research, 査読有, 45, 2009, doi:10.1029/2008WR007390

[学会発表] (計 10 件)

- ① 魏 忠旺・杉田 倫明, 湖面バルク輸送係数に対する湖流、波、局地スケールの大気循環の影響, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 21 日, 幕張メッセ
- ② Sugita M., Z.-W. Wei, A. Miyano and H. Ikura, Evaporation from Lake Kasumigaura, Bulk Coefficients and Spatial Distribution of Latent Heat Flux, Symposium on Hydrologic Discovery Through Physical Analysis Honoring the Scientific Legacies of Wilfried Brutsaert and Jean-Yves Parlange, 2012 年 5 月 15 日, Cornell University (アメリカ合衆国ニューヨーク州イサカ)
- ③ 杉田倫明・宮野愛子・伊倉宏弥・魏忠旺, 霞ヶ浦湖心観測所での長期フラックス観測の可能性: 観測から得られた知見と課題, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会,

2011年5月23日, 幕張メッセ

〔図書〕(計2件)

- ① 杉田倫明・田中正・筑波大学水文科学研究室、共立出版、水文科学、2009、275

6. 研究組織

(1) 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