

大気水蒸気収束量と流域水収支との対応 ～チャオプラヤ川での事例解析

Atmospheric water vapor flux convergence and basin water balance ～ Case study in Chao Phraya river basin, Thailand

沖 大幹*・虫明功臣**・増田耕一***

by Taikan OKI, Katumi MUSHIYAMA and Kooiti MASUDA

Atmospheric vapor flux convergence is introduced for the estimation of the water balance in a river basin. Flux convergence is calculated using the ECMWF global analysis data, and compared with the observed data in Chao Phraya river basin, Thailand. Through the balance equation of hydrological cycle, discharge is estimated from vapor flux convergence and is compared with observations. It was found that the absolute value of flux convergence is not applicable, but inclusion of a factor provided better estimation for the case under study. Such information is expected to give basin scale evaporation or water storage in a basin.

Keywords : Water balance in a river basin, Vapor flux convergence, Chao Phraya river, River basin in a subtropical monsoon region, ECMWF data

1. はじめに

流域の水管理を考える上で、その領域での水収支は最も重要な基本的項目のひとつであるが、広域の降水量、広域の蒸発量を測定することは難しい。レーダや衛星リモートセンシングなどの手段を用いてそれらの量をより精度良く測定しようという研究が現在も続けられているが、一方で降水・蒸発散・流出という三項目とは別に、大気の水蒸気収束を算定することによって、流域水収支についての情報を得ることが可能であることは古くから知られている。この点については気象・気候学において従来研究が積み重ねられてきており、全球的な分布を取り扱ったものとして、Bryan・Oort¹⁾、Baumgartner・Reichel²⁾、Lvovitch³⁾等の成果があり、大陸、海洋規模ではRasmusson⁴⁾やPeixoto Oort⁵⁾が水蒸気収束とともに流出も含めた年間水収支を論じている。水蒸気収束量を算定するためには、従来は不均一かつ密度が充分とは言えない高層気象観測データを用いざるを得なかったが、近年の全球大気数値モデル(GCM)の発達や海洋上での観測の欠落を補うリモートセンシング技術の進歩によって、大気の状態変数が格子点上に時空間的に内挿(4次元同化)された'客観解析データ'が作成されるようになり、データ解析に利用可能となっている⁶⁾。

本研究では、このデータセットを用いた大気水収支解析と、流域水収支について、タイのチャオプラヤ川流域を対象として事例解析を行い、両者の整合性について基礎的な検討を行う。

* 正会員 工修 東京大学生産技術研究所第五部 (〒106港区六本木7-22-1)
** 正会員 工博 東京大学生産技術研究所第五部 (〒106港区六本木7-22-1)
*** 理博 東京大学理学部地球物理学教室 (〒113文京区弥生2-11-16)

2. 水蒸気収束量の算定

2.1 データ

使用したデータは、ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)で作成された客観解析の結果である。全球2.5°の格子に風ベクトル、温度、湿度、等圧面高度のデータが7層に対して与えられている。解析値は6時間前の解析値から予報モデルを使って推定(時間外挿)した予想値と、高層ゾンデや衛星から得られるデータを空間内挿した観測値とを最適混合して作成される。従って、解析値は予報モデルに大きく依存し、また、予報モデルや衛星情報の利用アルゴリズムは常に改良されているので、その質は作成機関や作成時期によって大きく異なる⁷⁾。本研究では、1980年から1988年の9年間について、1回/日(1984年5月以降は2回/日の解析がある)のデータを用いた。

2.2 算定式

(a) 大気の水蒸気収支式 落下しない液層の水(雲水)の項を無視して、大気の水収支式は

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\nabla_2 \cdot \mathbf{Q} + E - P \quad (1)$$

と表される(詳細は全出の文献参照のこと)。Eは蒸発散量、Pは降水量であり、 ∇_2 は水平2次元の発散を、 $\mathbf{Q} = (Q_\lambda, Q_\phi)$ はそれぞれ λ (経度)、 ϕ (緯度)方向の水蒸気フラックスベクトルを示し、

$$Q_\lambda \equiv \int_0^{p_0} q u \frac{dp}{g}, \quad Q_\phi \equiv \int_0^{p_0} q v \frac{dp}{g}, \quad W \equiv \int_0^{p_0} q \frac{dp}{g} \quad (2), (3), (4)$$

と定義される。Wは可降水量と呼ばれる。qは比湿、u、vはそれぞれ東向き、北向きの風速、gが重力加速度、pが気圧で、 p_0 は地表面気圧を示す。ここで、水蒸気収束(発散)量は、地球を半径aの完全な球として、次式に従い中心差分を用いて計算した。

$$\nabla_2 \cdot \mathbf{Q} = \frac{1}{a \cos \phi} \left[\frac{\partial Q_\lambda}{\partial \lambda} + \frac{\partial Q_\phi \cos \phi}{\partial \phi} \right] \quad (5)$$

(b) 流域水収支式 流出を河川流出 Q_{out} と地下水流出 Q_{gw} とにわけて記述すると、

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \nabla_2 \cdot \mathbf{Q}_{out} + \nabla_2 \cdot \mathbf{Q}_{gw} = -(E - P) \quad (6)$$

のように流域水収支式は表される。ただし、Sは流域貯留量である。

(c) 大気水収支と流域水収支 (1)、(6)式から、

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \nabla_2 \cdot \mathbf{Q}_{out} + \nabla_2 \cdot \mathbf{Q}_{gw} = -(E - P) = -\nabla_2 \cdot \mathbf{Q} - \frac{\partial W}{\partial t} \quad (7)$$

という式が得られる。すなわち、大気水収支と流域水収支とは(E-P)を通して結びついている。

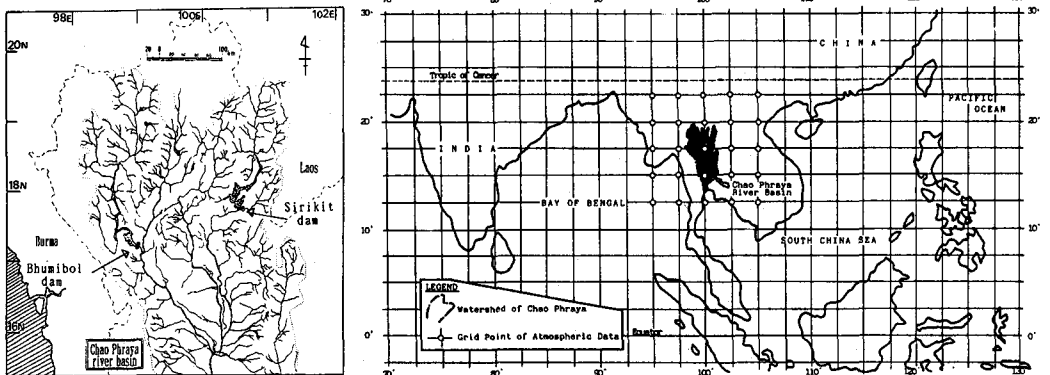


図-1 解析対象河川流域と大気データのメッシュ

3. 流域水収支との対応

3.1 対象流域とデータ

チャオプラヤ川はタイ国中央部を流れる流域面積約178,000km²の河川であり、日本最大の流域面積を持つ利根川に比べて、約10倍程度の大きさである。しかしながら、2.5'メッシュで表された全球大気データセットに比べると極めてローカルなスケールである(図-1)。

流量は、流域北西を流れる支川PingのBhumibolダム及び北東部の支川NanのSirikitダムへの流入量データをEGAT(Electricity Generating Authority of Thailand)より入手して用いた。1985年までについてはタイの王立灌漑局(RID)のデータから、Ping川及びNan川上流であり人為の影響がないと思われるP.1観測所とN.40観測所、そして主要支川合流後デルタに向かって派川する前のC.2観測所での観測値をも併せて使用した。各地点に対する流域面積を表-1に示す。雨量は、タイ国気象局が観測しているデータのうち、チャオプラヤ川流域内の地点を平均して用いた。

表-1 各流量観測地点の流域面積

地点名 流域面積(km ²)	Bhumibol dam 26,396	Sirikit dam 15,718	P.1 6,355	N.40 4,340	C.2 110,569
-------------------------------	------------------------	-----------------------	--------------	---------------	----------------

3.2 算定結果

算定された大気水蒸気収束量(流域周辺の25グリッドの平均値)、観測された流出量、ならびに流域平均降水量を図-2に示す。ただし、棒グラフ(- $\nabla_2 \cdot \bar{Q}$, 降水量)と折れ線グラフ($\nabla_2 \cdot \bar{Q}$, 流出量)とはスケールを変えて表示している。- $\nabla_2 \cdot \bar{Q}$ は1984年までと1985年以降との間でデータの質にギャップが見られるが、この間に水蒸気の取扱いに大幅な改善がECMWFの解析予報モデルに対して施されており、その影響であると考えられる。以下の議論は1985年以降について検討する。

(7)式において、年単位では流域貯留量変化や大気貯留量変化(算定では数mm/年)は無視できるので、(地下水も含めた)流出量と水蒸気収束量とは一致する事が期待されるが、観測された $\nabla_2 \cdot \bar{Q}$ の値は算定された- $\nabla_2 \cdot \bar{Q}$ に比べてかなり小さい。地下水流去の影響もあろうが、この流域は南西、北東の両季節風に対して山脈の風下に位置することがひとつの大きな要因であると考えられる。すなわち、5'×5'の広い領域で平均化された水蒸気収束量- $\nabla_2 \cdot \bar{Q}$ に比べてこの流域の実収束量はかなり小さいことが予想される(降水量の分布がこれを裏付ける)。しかし、こうした効果を考慮した収束量の算定については現時点では不明であるため、便宜上1985年~1988年の- $\nabla_2 \cdot \bar{Q}$ の平均値がBhumibolダムの流出量の平均値に一致するように、係数 α (=0.18)をかけることにする。修正した水蒸気収束量と、ダムの流出量とを月単位で比較したのが図-3である。両者は良く一致しておりこの事例では修正によって水蒸気収束量を流域水収支の情報として利用できることがわかる。

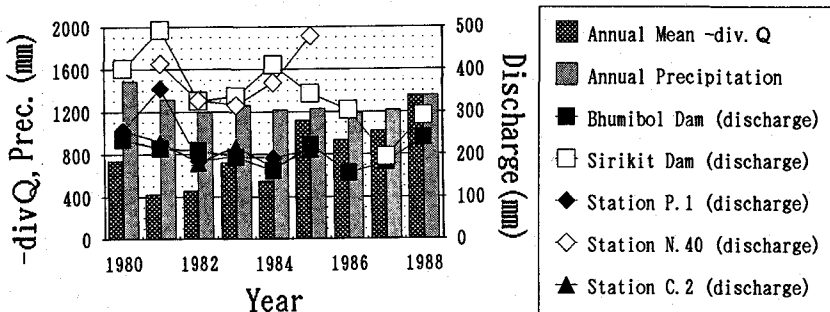


図-2 大気水蒸気収束量、流域平均降水量、観測流出量の経年変化。流出量の目盛りは右側。

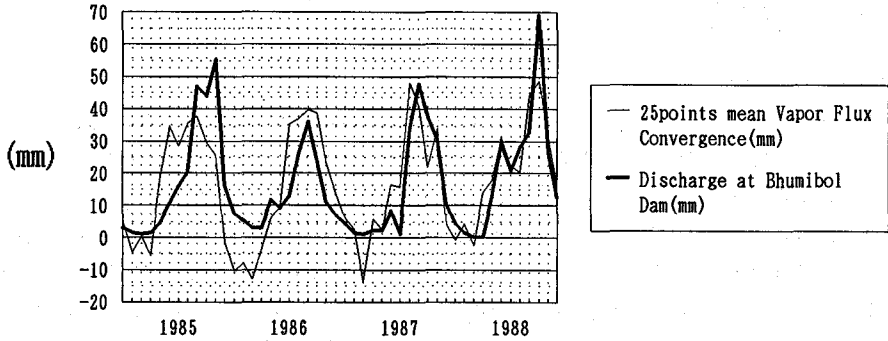


図-3 修正した水蒸気収束量と、観測された月流出量

ここで、月単位の水収支解析の場合には、 S の貯留効果は水蒸気収束に対する流出の時間遅れとなって現れる。図-3上でも、貯留効果が1カ月前後のピークのずれとして認識される。逆に、流域平均降水量の観測値を用いると、流域貯留量 S や蒸発量 E の時間変化を算出することができる⁹⁾。

4. おわりに

大気水蒸気収束量は、データの時空間的なスケールの制約のため、算定される絶対値をそのまま用いる事はできないが、変動はよく表現されており、適切な補正を施す事によって、新たに流域水収支に関する有用な情報を得ることができる。水資源賦存量の年々変動や、気候変動にともなう変化を考える場合にはこうした全球的な枠組みの中で流域の水収支を考える事が重要であり、今回の結果は、そうした取り組みに対して極めて強力な手段を提示している。今後、他の大河流域への事例解析と共に、より細かいスケールの気候を再現するモデルの構築などが必要となってくるであろう。

[参考文献]

- 1) Bryan, F. and Oort, A. : Seasonal Variation of the Global Water Balance based on Aerological Data. J. Geophys. Res., 89, pp.11717~11730, 1984.
- 2) Baumgartner, A. and Reichel, E., "The world Water Balance" : Mean Annual Global, Continental and Maritime Precipitation, Evaporation and Runoff". Ordenbourg Munchen 発行, Elsevier Amsterdam 発売, 1975.
- 3) Lvovitch, M. I., : The Global Water Balance. EOS, Transactions of Amer. Geophys. Union, 54, pp. 28~42, 1973.
- 4) Rasmusson, E. M. : Atmospheric Water Vapor Transport and the Water Balance of North America, Monthly Weather Rev., 96-10, pp. 720~734, 1968.
- 5) Peixoto, J. P. and Oort, A. H. : The Atmospheric Branch of the Hydrological Cycle and Climate. "Variations in the Global Water Budget" (eds. Street-Perrot, A., Beran, M. and Ratcliffe, R.), Reidel, Dordrecht, pp. 5~65, 1983.
- 6) 増田耕一：大気データの4次元同化による気候系の解明，日本の科学と技術，Vol. 30-255, pp54-59, 1987.
- 7) Hoskins, B. J. et al : Diagnostics of the Global Atmospheric Circulation Based on ECMWF Analyses 1979-1989, WCRP-27, WMO/TD - No. 326, 1989.
- 8) 沖 大幹, 虫明功臣：タイ・チャオプラヤ川流域の水文気候学的水収支，水文・水資源学会研究発表会要旨集，pp. 14-17, 1990.

[謝辞] 文中に記した，各データの提供者，提供各機関に感謝いたします。ECMWFのデータは東京大学理学部地球物理学教室で保有しているデータを利用しました。また，本研究は文部省海外学術研究「熱帯モンスーン地帯河川流域の水文特性と水管理」(代表：筑波大学，椎貝博美)の助成を受けました。ここに記して甚大なる感謝の意を表します。