

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 6 月 11 日現在

機関番号：23303

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22688020

研究課題名（和文）西アフリカ・ボルタ川流域の大規模な湿地・湖沼における水収支および気象緩和機能解析

研究課題名（英文）Hydro-meteorological analysis in the wetlands and lakes of the Volta River basin in West Africa

研究代表者

藤原 洋一（FUJIHARA YOICHI）

石川県立大学・生物資源環境学部・准教授

研究者番号：10414038

研究成果の概要（和文）：大規模な低湿地・湖沼を含む流域における水文・気象解析を行うことを目的として、再解析データ、全球降水量データセットの実用性について検討した。水収支モデル、氾濫を考慮した河道モデルを組み合わせた水文モデルに、様々な気象データをインプットして氾濫量、流量を計算した。その結果、GPCP の降水量、ERA の蒸発量を利用した結果が最良であった。さらに、このデータの組み合わせは、1 地点の観測降水量データによる結果よりも再現性がすぐれており、観測不十分流域における実用性が高いことが示された。

研究成果の概要（英文）：The utility of reanalysis and global precipitation datasets was examined for hydro-meteorological analysis in the wetlands and lakes of the Volta River basin. Various meteorological patterns were used as input data for a hydrologic and a river flow models, and river flows were simulated. Results indicate that the combination of GPCP precipitation and ERA evaporation produced the most accurate flows. In addition, the results for the GPCP precipitation and ERA evaporation were better than those for the combination of observed precipitation and ERA evaporation. This demonstrates that the combination of GPCP precipitation and ERA evaporation data is very useful for water balance analysis in un-gauged basins.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2011 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2012 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	9,100,000	2,730,000	11,830,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学、農業土木学・農村計画学

キーワード：水循環、水資源、氾濫原、洪水、アフリカ、再解析データ、観測不十分流域

1. 研究開始当初の背景

アフリカにおける緩やかに蛇行する河川には、大規模な湿地・氾濫原・手つかずの湖沼などが広く分布している。こうした湿地・湖沼が環境に果たしている正の機能としては、洪水の軽減、地下水の涵養源、周辺地域

の乾燥化抑制（気象緩和機能）、生物多様性の維持、などが挙げられる。一方で、水面からの蒸発による水資源の損失、マラリアなどの風土病の温床など、負の機能も有している。アフリカ大陸における湿地の開発は他地域と比較すると格段に少ないが、今後の人口増

加、食糧増産にともなう水利用増加のポテンシャルを考慮すると、湿地・湖沼における無秩序な水利用が生じる可能性があるが、湿地の機能を正しく評価することなしに、こうした水利用が増加すればアラブ海やチャド湖のように湖面積の縮小に伴う極めて大きな環境問題が引き起こされる可能性がある。そのため、コメ生産の拡大が顕著な西アフリカでは、貴重な水資源を巧みに利用できるような湿地・湖沼の適切な保全・管理方法を検討することが極めて重要な研究課題となっている。

2. 研究の目的

水資源利用を検討するに際しては水文モデルによるシミュレーションを利用することが効果的であり、これまでに数多くの水文モデルが開発され、自然状態の水循環のみならず、人間活動による水利用をも表現できる水文モデルへと発展を続けている。さらに、SWAT (Arnold et al. (1998)) などの優れたモデルがオープンソースとして公開されるようになっており、非常に精緻なモデルが比較的簡単に動かせる環境になりつつある。しかしながら、アフリカにおいては、水文モデルへのインプットとなる気象データを入手することが困難、観測データの質が極めて悪い、そもそも気象観測が途絶えてしまっている等といった事態にしばしば遭遇する。このように、駆動しようとする水文モデルは手元にあるものの、インプットとなる気象データに大きな制約があり、モデルの適用に際して頭を悩ますことが多い。

一方で、気候モデルからのアウトプットや衛星データからのプロダクトといった全球を網羅するようなデータセットの開発はめざましく、これらデータの時間的、空間的解像度はかなり高くなってきている。代表的なものとして再解析データを挙げることができ、全球を対象とした水資源解析、各種シミュレーションなどにしばしば利用されている (たとえば、井口・木田 (2005)、野原ら (2010))。しかしながら、これらのデータセットを利用した際の計算流量が、実際の河川計画、水工物の設計などにも利用できるものか否か、といった実用上の検討は十分になされているとは言い難い。そこで、気象学やグローバル水文学の分野で広く用いられている再解析データ、および、全球を網羅する降水量データセットを用いて、地上気象観測が十分に行われていない流域を対象とした長期流出解析を行い、これらデータセットの実用性について検討した。

3. 研究の方法

(1) 研究対象流域

西アフリカにおける代表的な国際河川で

あるボルタ川流域を研究対象とした。ボルタ川は、ブルキナファソ、ガーナなどの5カ国を流れる国際河川であり、全流域面積はおよそ400,000km²である。主要な支流は、西から黒ボルタ川、白ボルタ川、オチ川であり、これら支流はアコソンボダムで堰き止められた世界最大の人造湖であるボルタ湖に流れ込み、アコソンボダムを通過した後、いくつかの小支流が合流してギニア湾に注いでいる (Shahin, 2002)。雨季と乾季が明瞭で7月から9月の間に年降水量の約8割がもたらされ、年降水量は南部で1,500mm、北部では300mmを下回っている。主要な土地利用タイプは、南部ではギニアサバンナ、北部ではスーダンサバンナに分類される。地形は非常に平坦であり、地質は先カンブリア時代の火成岩類、変成岩類から構成されており、ギニアサバンナ地域は堆積層から構成されている (国際農林業協力協会, 2002)。

(2) 使用データ

本研究では、米国環境予測センター (NCEP: National Centers for Environmental Prediction) が中心となって作成しているNCEP1 (Kalnay et al., 1996)、および、NCEP2 (Kanamitsu et al., 2002) に加えて、ヨーロッパ中期気象予報センター (ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) が公表しているERA Interim (Dee et al., 2011) を採用した。ここでは、公開されているデータから、日単位の降水量、蒸発量データを選択し、収集期間は1997~2009年とした。

さらに、再解析データとは別に、衛星観測を利用した高分解能の全球降水量データがくつか公表されている。この中で、GPCP (Global Precipitation Climatology Project) one-degree daily (Huffman et al., 2001) は、複数の衛星観測データを地上雨量計を用いて補正することで、1度×1度グリッド、一日の分解能で降水量データを公表している。本研究では、このGPCPを利用することとするが、降水量のみのデータセットであることから、蒸発量データに関しては、再解析データの中で最も空間解像度が高いERA Interimを代用することとした。なお、収集期間は、その他の降水量データと同じく1997~2009年とした。

再解析データ、および、全球降水量データセットの精度を検証する目的として、ガーナ国・タマレ市における日降水量データをガーナ気象局から収集した。ここでは、1975~2009年の日降水量データが得られたが、再解析データ、および、全球降水量データセットとの精度比較においては、1997~2009年の13年間のデータを使用することとした。

再解析データ、および、全球降水量データセットを用いて、後述する水文モデルを駆動

し、その計算流量の精度を検証する目的として、GRDC (Global Runoff Data Centre) が収集している河川流量データを収集した。観測期間が長いこと、また、欠測が少ないことを考慮して、NAWUNI 地点 (ガーナ国、白ボルタ川流域) を対象とすることとした。河川流量データとしては 1975~2006 年まで収集することができたが、先に述べた再解析データ、および、全球降水量データセットの配布期間を考慮して、1997~2006 年の 10 年間のデータを使用することとした。

(3) 水文モデルとその適用条件

本研究では、ボルタ川全流域を囲む北緯 5~15 度、西経 174 度~東経 3 度の領域 (5 度×5 度) を 0.5 度の空間解像度で分割し、各グリッド毎に後述する水収支モデルを用いてグリッドからの流出量を計算し、さらに、河道網に沿って河川流量を追跡計算することとした。なお、流下方向の決定に際しては、STN-30 (Vorosmarty et al., 2000) をベースにしつつも、実際の河道の方向、位置を示した地図と照らし合わせ適宜修正した。

水収支モデルには、Boyle et al. (2001) が提案している HYMOD と呼ばれる概念モデルを採用した。HYMOD は、李ら (2005)、松本ら (2006) が紹介している VIC モデルと基本的には同一で、流域内の貯留能の空間変動を分布関数によって表現したモデルである。パラメータは全部で 5 個あり、既往の文献 (Kollat et al., 2012) を参考に最大および最小値を決定した。

河道流の計算には、Vorosmarty et al. (1989) が提案している WTM (Water Transport Model) を採用した。通常は線形貯水池モデルであるが、下流グリッドへの流出量が河川の通水能力を超えた場合に氾濫が生じるものとして、グリッド内のみではあるが氾濫を陽に組み込んでいる点が大きな特徴である。ここで、設定すべきパラメータは合計で 3 つであり、既往の文献などを参考に最大値と最小値を設定した。

適用を検討する気象データの組み合わせに関して、再解析データは降水量、および、蒸発量データの両者を利用できることからそのまま利用し、GPCP は降水量データのみであるから解像度の最も高い ERA からの蒸発量データで代用し、また、観測値も降水量しかないことから ERA の蒸発量データと組み合わせることとした。これら 5 つのデータセットを入力値とし、それぞれに対する最適パラメータを同定して再現性を検証することとする。なお、1997~2000 年の 4 年間を同定期間、2001 年から 2006 年の 6 年間を検証期間とした。パラメータの同定には、大域的最適化手法の一つである進化戦略 (Evolution Strategy: ES) を利用した。進化戦略は、最も強力な最適化手法と目されている SCE-UA

法と同等ないしより強力であることが示されている (藤原ら、2003b)。また、観測値と計算値の食い違いの程度を表現する目的関数には、水収支がバランスし、高水部の再現性が重視される RMSE (藤原ら、2003a) を採用した。

4. 研究成果

NCEP1、NCEP2、ERA、GPCP の各降水量データに関して、タマレ市を含むグリッドにおける降水量データを抽出し、観測降水量と比較した。その結果、NCEP1、NCEP2 では、相関係数がそれぞれ 0.64~0.66 であるのに対して、ERA の相関係数は 0.79 となっており、同じ再解析データの中では ERA の再現性が良好であることが分かった。一方、衛星データから作成された GPCP と観測降水量との相関係数は 0.86 となっており、本研究で検討したデータセットの中では最も良いことが示された。

さらに、それぞれのデータセットと観測降水量を年単位で比較した (図 1)。これを見ると、NCEP1、NCEP2 では、観測値と比較するとかなりの過大推定となっており、年々変動もあまり一致していない。ERA に関しては、後半 (2005~2009 年) は過小推定の傾向があるものの、年々変動の傾向はおおよそ一致しており、NCEP1、NCEP2 よりも再現性は優れている。一方、GPCP は、観測値の年々変動とかなり合致しており、再現性が最も良いことが分かる。

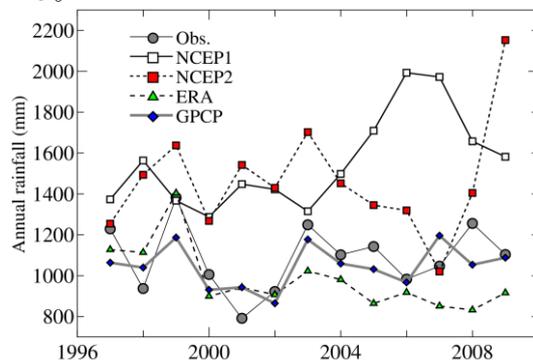


図 1: 年降水量変動の比較

それぞれのデータセットを用いて流出モデルパラメータの同定を行い、目的関数が最も良くなった計算値と観測値を比較した。また、評価関数として利用した RMSE に加えて、相対誤差、および、水収支誤差で評価した。まず、図 2 を見ると、年々変動の再現性が悪かった NCEP1、NCEP2、ERA であっても、季節的な特徴は見た目にはおおよそ合致している。しかしながら、同定期間であっても、相対誤差で 66.0~157.9%、水収支誤差も -2.4~32.7% となっており、これらのデータセットの結果を何らかの水資源計画に実際に利用することは難しいことが分かった。

一方、GPCP による計算結果を見ると、ハイ

ドログラフによる検証では観測値との適合性は申し分ない。3つの評価値に関しては、GPCPによる結果は、検証期間の水収支誤差を除いて全ての部門で最も優れていることが分かった。相対誤差は、同定期間で43.1%、検証期間で46.6%となっており、現地で収集した気象観測データを一切利用していないことを考えると驚くべき再現性といえる。さらに、現地で収集した1地点の観測降水量データとERAからの蒸発量データを利用して、シミュレートした結果は、どのデータセットの結果よりも悪くなっていることが注目される。これは、本研究の対象流域のように、南部と北部で降水量に大きな違いがある場合、1点のみでは代表的な雨量とはならないことがよく理解できる。以上の結果から、地上観測データが全く利用できないような観測不十分流域において、降水量データとしてGPCP、蒸発量データには再解析データを用いることは、実用上十分な再現精度が得られることが分かった。

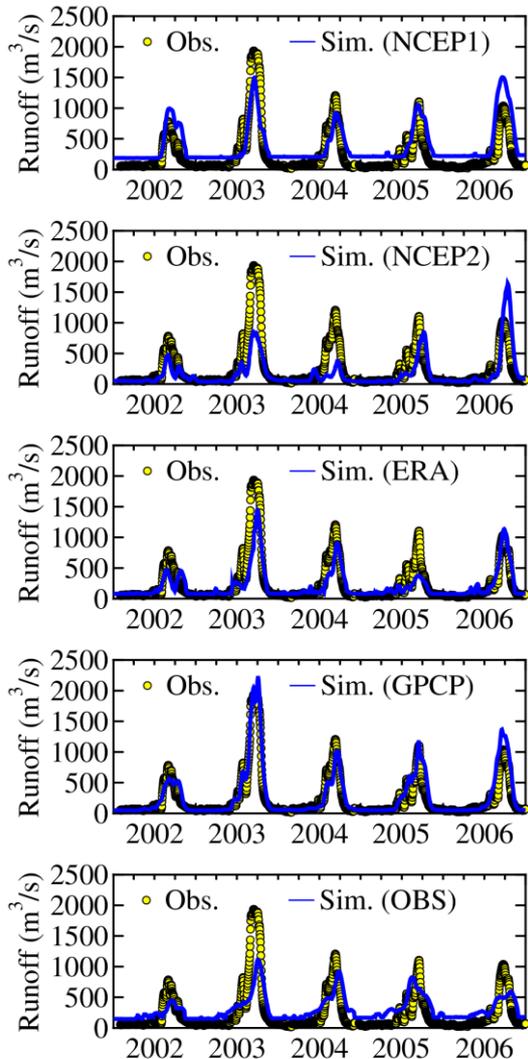


図2：河川流量の計算結果

横浜で開かれたアフリカ開発会議 (TICAD) の場において、サブサハラ・アフリカのコメ生産を2018年までに倍増させる行動計画が採択された。コメ生産のためには水資源管理が極めて重要であるが、研究目的で述べたように質の良い水文・気象データの入手はほとんど期待できない。本研究では大規模な湿地、湖沼を含む流域における河川流量の再現にとどまったが、今後はここで開発した水文モデル、データセットの組み合わせを活用することによって、アフリカの農業生産の向上に資する研究へと展開することが望まれる。

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6件)

- ① 藤原洋一、山本由紀代、辻本泰弘、坂上潤一、再解析および全球降水量データセットを利用した観測不十分流域における長期流出解析、応用水文、No.25、pp.50-60、2013、査読無
- ② 藤原洋一、鳥山和伸、藤井秀人、夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響、農業農村工学会誌、Vol.81、No.4、pp.273-276、2013、査読有
- ③ 山本由紀代、辻本泰弘、藤原洋一、坂上潤一、西アフリカの未利用低湿地における稲作面積拡大のための適地評価手法の開発、熱帯農業、Vol.5、No.2、pp.156-159、2012、査読無
- ④ Y. Yamamoto, Y. Tsujimoto, Y. Fujihara, J. Sakagami, S. Ochi, M. Fosu, Assessing the probability of land submergence for lowland rice cultivation in Africa using satellite imagery and geospatial data. Environment, Development and Sustainability, Vol.14(6), pp.955-971, 2012, DOI:10.1007/s10668-012-9363-7, 査読有
- ⑤ 藤原洋一、山本由紀代、坂上潤一、辻本泰弘、藤井秀人、再解析データを用いたローカルな氾濫特性の解析について—西アフリカ・ボルタ川流域を対象として—、日本水資源化システム学会第19回研究発表会講演要旨集、pp.83-88、2011、査読無
- ⑥ Y. Fujihara, M. Oda, N. Horikawa, and C. Ogura, Hydrologic analysis of rainfed rice areas using a simple semi-distributed water balance model, Water Resources Management, Vol.25, pp.2061-2080, 2011, DOI:10.1007/s11269-011-9796-z, 査読有

[学会発表] (計10件)

- ① 藤原洋一、山本由紀代、辻本泰弘、坂上潤

- 一、再解析および全球降水量データセットを利用した観測不十分流域における長期流出解析、第25回水文・水環境研究部会シンポジウム、石川、2012年11月26日
- ② 藤原洋一、鳥山和伸、藤井秀人、ひたひた 灌漑における土壌環境と玄米品質について、平成24年度農業農村工学会大会講演会、札幌、2012年9月20日
- ③ 坂上潤一、松嶋賢一、辻本泰弘、藤原洋一、Alhassan Zakaria、Yahaya Inusah、遺伝子型・環境型相互解析手法を用いたサバンナ低湿地におけるイネ適正品種の選定、日本作物学会第234回講演会、仙台、2012年9月11日
- ④ 山本由紀代、辻本泰弘、藤原洋一、坂上潤一、アフリカの低湿地氾濫源における低投入稲作導入に向けた土壌肥沃度の評価(1)、システム農学会2012年度春季一般研究発表会、鳥取、2012年5月13日
- ⑤ 藤原洋一、山本由紀代、坂上潤一、辻本泰弘、藤井秀人、再解析データを用いたローカルな氾濫特性の解析についてー西アフリカ・ボルタ川流域を対象としてー、日本雨水資源化システム学会第19回研究発表会、松山、2011年11月5日
- ⑥ 山本由紀代、辻本泰弘、藤原洋一、坂上潤一、越智士郎、アフリカの低湿地氾濫源における低投入稲作導入に向けた湛水可能性の評価(2)、システム農学会、広島、2011年10月23日
- ⑦ 山本由紀代、辻本泰弘、藤原洋一、坂上潤一、越智士郎、アフリカの低湿地氾濫源における低投入稲作導入に向けた湛水可能性の評価、システム農学会、京都、2011年5月21日
- ⑧ 山本由紀代、林慶一、辻本泰弘、坂上潤一、藤原洋一、アフリカ低湿地における稲作の導入可能性を予見するための基礎分析、システム農学会、西宮市、2010年11月7日
- ⑨ T. Hatta, J. Sakagami, K. Hayashi, Y. Fujihara, S. Nemoto, T. Oya, N. Matsumoto, and Y. Shinohara, Study on crystal growth and control to improve soil fertility in West Africa, The 2010 SEA-CSSJ-CMS Trilateral Meeting on Clays, Seville, Spain, 2010, June 8
- ⑩ 山本由紀代、藤原洋一、岡田珠生、坂上潤一、衛星データを用いたガーナ・ボルタ川流域低湿地における湛水動態の把握、システム農学、那須塩原市、2010年5月29日

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 洋一 (FUJIHARA YOICHI)
石川県立大学・生物資源環境学部・准教授
研究者番号: 22688020

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし