

平成21年12月28日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19580278  
 研究課題名（和文） 農用流域の不確実な時空間降水量・流出量分布に関する地球統計学的高精度再現法の開発  
 研究課題名（英文） Geostatistical estimation approach with high accuracy regarding spatiotemporally hydrological distributions with uncertainty in agricultural basins  
 研究代表者  
 浜口 俊雄（HAMAGUCHI TOSHIO）  
 京都大学・防災研究所・助教  
 研究者番号：90263128

研究成果の概要：水文観測データ不足の農用流域では従来扱うことが困難な降水量や蒸発散量の時空間分布について、地球統計学的手法を採用することで、粗い解像度のレーダー観測データ・衛星観測データを、数値地図モデル(DEM)のセル解像度までダウンスケール推定し、同時に水文パラメータ(粗度係数, 透水係数, 斜面勾配, 標高データ, 河道勾配, 斜面長, 斜面方向, 河道長など)の空間分布を、解析解像度レベルで高精度再現した。これらにより、水文観測データの乏しい流域で高精度の分布型流出シミュレーションを行う手法を確立できた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農学分野

科研費の分科・細目：農業工学分科, 農業土木学・農業計画学細目

キーワード：地球統計学, 水文パラメータ, 空間分布, 降水量分布, 分布型流出モデル

## 1. 研究開始当初の背景

水文観測データが不足した場合に、流域では降水量や蒸発散量の時空間分布は粗い気象観測網（日本では AMeDAS）や周りの観測データから大まかな値を推定する。例えば、ティーセン法をはじめとするゾーニング手法によって、1つのゾーンに1つ以上の観測点が入るようにゾーニングした後、各ゾーンの値は観測点での観測値を代表値として採用し、ゾーン毎に一樣な値を与えて不連続な階段状の分布を設けて分布推定値とする。ま

た粗い衛星観測データでも同様に階段状の分布である。これらのデータを解析に用いるには数値地図モデル(DEM)で扱うセルの大きさの分布まで地上観測値を用いて統計的または物理的にダウンスケールせねばならない。物理的ダウンスケールリングは計算不可が莫大で実用的でなく、瞬時値が意味あるものでないこともあり、或る時間の積分値で評価していくことにもなりかねない。よって、統計的ダウンスケールリングの高精度化が有力である。既往の最もポピュラーな手法は観測点毎に時系列変動解析または頻度解析に

よって、地上の細かい観測値と、観測網の粗い観測値が統計的に何かの統計量が同じになるように考えることでダウンスケーリング補正する方法である。この手法は観測値の空間相関性が同時に検討されることはない。これを打破する手法が必要になる。

## 2. 研究の目的

本研究は、地球統計学的手法により、代表にされる観測値と観測位置から時空間相関関係を求めて、非観測領域を時空間的に補間していくことを目指す。これにより、上記の問題点も打破できると思われる。その際に空間分布の連続性を考えていくことから、観測網サイズから解析サイズへダウンスケールする際には、スケールに依存しないものを求めることができると期待される。同様に、水文解析モデルパラメータ（粗度係数、透水係数、斜面勾配、標高データ、河道勾配、斜面長、斜面方向、河道長など）の空間分布もアップスケールまたはダウンスケールすることが同様の手法で可能と思われる。さらに本手法が完成することで、計算セルサイズと同じサイズを持つ観測網が高精度に推定でき、それを用いて分布型流出解析を遂行することで、水文観測データが乏しい農用流域で高精度に流出シミュレーションを行うができると思われる。

## 3. 研究の方法

地表観測データ不足を補うものとして粗いデータではあるが衛星観測データが有用である。しかしながら、将来の予測や所望時間の観測データ欠損の可能性もあるため、ここでは、精度に問題があっても全球全時刻を取得できる GCM 出力を対象として考える。現在公開されているもので最小計算サイズの GCM 出力は 100km である。しかし研究代表者や連携研究者の所属期間では現在 20km サイズの出力をテストしている。今回は 100km サイズの出力を用いて、その後、20km サイズの利用に移行することを考えた。

地球統計学の一手法である kriging (クリギング) を用いるが、GCM 出力では瞬時値に意味はなく、1 ヶ月以上の積算値を時間的区間的にダウンスケーリングすることが必要になる。そこで、各観測点での月統計量（月平均値、月分散値、超過確率など）が空間分布するものとして kriging で空間推定し、その結果から GCM 出力の各計算点での月統計量を算出したのち、両者を空間的に比較して、各計算点でのダウンスケーリングによる補正と GCM のモデルバイアス補正を同時に行う。

さらに、流出計算時には計算効率（計算負荷）と要求される計算精度を鑑みて、或る適

切な大きさを持つ計算メッシュを用いることになる。したがって最小単位のセルを束ねて或る大きさにしたセルを流出計算に用意し、モデルパラメータはそのセルの積分平均値を使えばよいと考えられる。本研究では、積分平均値について「均質化値」として考える。つまり算術的な積分平均（相加平均）でなく、考察対象の流出量が、パラメータを計算セルで均質化した場合も最小セルで検討した際と等価な応答・等価な流量を持つパラメータを理論的に導出して用いた。この際はパラメータをセル全体までアップスケールすることになる。

## 4. 研究成果

GCM データが大きく、計算に多大な時間を要したため研究成果が遅れていたが、ようやく実用に耐えうる結果がでてきた。

研究代表者の発表論文⑨にもあるとおり、パラメータの均質化によるアップスケールは、パラメータの大きく異なるものが多数存在した場合に特に大きく寄与することがわかった。透水係数は桁の違うものが点在すればするほど、均質化は重要になって効力を発揮する。例えば、乾燥地の緑化・農用地化に関して検討するために、ワジと呼ばれる乾燥地特有の流出システムをモデル化して、その透水係数の違いをあまり意識せずに有効的に流出計算に用いることに成功した。ここにワジとは、普段降雨が無いときは流出がなく河道が干上がっているが、降雨があると河道に流出が発生し、あっという間に河川になってしまうという流出機構である。ここで重要な現象がワジ河川の移動損失であり、流水が河道を下流に移動しながら浸潤して徐々に消失していくものである。この現象は透水係数で考えることになるが、セルサイズは 1km~5km 程度に考えるため、均質化が必要になる。最小セルも計算セルも正方形であるとすれば、計算セルの均質化透水係数  $k^*$  は式(1)のようになる。同係数の導出は雑誌論文⑨を参照されたい。ここに、 $n$ : 計算セル辺に対する最小セル辺の倍数、 $k_{ji}$ : 計算セル中の最小セル  $j$  行  $i$  列目の透水係数である。

$$k^* = \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n k_{ji}} \quad (1)$$

kriging において、観測値の空間平均値は、例えば平均がスカラーとすると、

$$a^*(x, y) = a_0 + c(x, y)^T C^{-1} w \quad (2)$$

となり、観測値の分散平均値は

$$\sigma^{*2}(x, y) = \sigma_0^2 + \mathbf{g}(x, y)^T \mathbf{G}^{-1} \mathbf{z} \quad (3)$$

となる。ここに  $a_0$ ,  $\sigma_0^2$  はそれぞれの空間平均値,  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{G}$  はそれぞれの観測点の各 2 点間の空間相関関係を表す共分散関数値の行列,  $\mathbf{c}(x, y)$ ,  $\mathbf{g}(x, y)$  はそれぞれの観測点と推定点間の空間相関関係を表す共分散関数値のベクトル,  $\mathbf{w}$ ,  $\mathbf{z}$  はそれぞれの観測点でのランダム成分値 (観測値マイナス平均値) を表す。導出の詳細は文献 T. Hamaguchi: A NEW COMPOSITE APPROACH OF PHYSICAL AND GEOSTATISTICAL ASPECTS TO GROUNDWATER MODELING, Proc. of Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modelling, IAHS Publication no.282, pp.152-158, 2003. を参照されたい。これより, 観測値の統計量が GCM 計算点上でも得られるようになる。つまり  $x, y$  に GCM 計算点の座標値を入れれば, それぞれの統計量が得られる。本研究では, 式(2), (3)に当てはめている統計量は降水量・気温の値を算出している。なお上記のパラメータ同定には, 現在, 近未来, 100 年先未来の各期間でそれぞれ観測データ 25 年分を用いて行っている。

ダウンスケーリングした結果に関しては雑誌論文①④⑥⑧と学会発表①に詳述している。ダウンスケーリングとともにバイアス補正が上手く取れていることが窺える。その結果を入力値にした流出解析ならびに環境影響評価解析の結果を簡単に述べると, 各 25 年単位で現在, 近未来, 100 年先未来における, 河川流量, 降水量, 蒸発散量, 積雪・融雪量, 水温, 生態環境, 農作物生育環境, 森林植生環境がどのように変化するかを調べた。ここでは図 1 に示すような Hydro-BEAM という分布型流出モデルを用いた。これによ

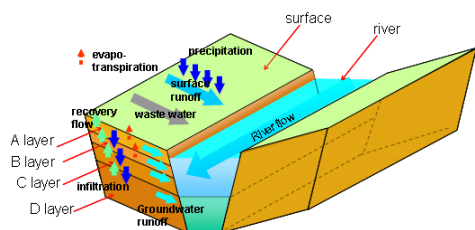


図 1 : Hydro-BEAM 概念図

り, 農用地が将来どのように変化するかが見える。

一例として, 図 2 には長良川流域における現在の代表的な農作物生育適合度を, 図 3 には同流域の 100 年先未来の農作物生育適合度を示す。(a)は柑橘系, (b)はイネ, (c)は大豆, (d)はトウモロコシを表し, 赤くなるほど適性が高く, ピンクが最高適性と見なせる。これらの農作物はどれも気象的・水文的な両変化から適性のある (育成の良い) 土地分布が徐々に北上していくことが予想できた。こうした細かな土地の気候変化も各種水文学

や気象量の本研究のダウンスケールがうまくできているからこそ特徴を見出せ, かつ, 予測できたと思われる。

日本では GCM 出力は 100km セルよりも 20km セルの方が地表観測網の間隔に近いので, ダウンスケールによる補正の効果が薄く, モデルバイアス補正がほとんどの補正量を占めることになった。従って, モデルバイアスの補正量を知るには 20km 出力を用いてから, 100km 出力を検討することで, ダウンスケーリングの補正成分とモデルバイアスの補正成分がほぼ特定できるため, 本手法の更なる向上にフィードバックして, 式(2) (3)の  $a_0$ ,  $\sigma_0^2$  の成分を修正する等, 様々な推定精度向上の策がうてると期待できる。

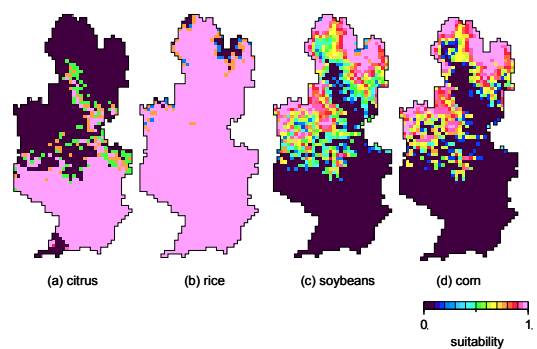


図 2 : 農作物生育適合度 (現在)

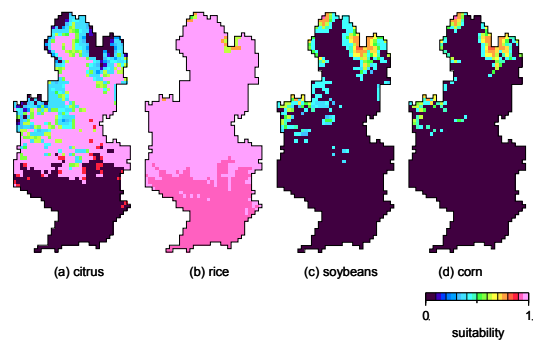


図 3 : 農作物生育適合度 (100 年先未来)

以上から, GCM 出力と kriging 推定手法の利用により, 観測情報の乏しい流域のシミュレーションが可能となった, さらに将来地球温暖化の影響を受けながら, 農用流域がどのようになるかも予測が可能となり, 本研究は非常に有用な結果をもたらせると言える。

## 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9件)

- ① 佐藤嘉展・森英祐・浜口俊雄・田中賢治・小尻利治・中北英一：気候変動に対する先行適応のための流域スケールでの洪水および渇水リスク評価，京都大学防災研究所年報，第52号，pp. 573-586，2009，査読無.
- ② 浜口俊雄・佐藤嘉展・小尻利治：時空間地球統計学を用いた水文データ補間分布推定手法，京都大学防災研究所年報，第52号，pp. 807-812，2009，査読無.
- ③ Mohamed SABER・浜口俊雄・小尻利治・田中賢治：Spatiotemporal Runoff Features of Hydrological Modeling in Arabian Wadi Basins through Comparative Studies，京都大学防災研究所年報，第52号，pp. 813-830，2009，査読無.
- ④ T. Hamaguchi, Y. Sato, K. Tanaka, E. Mori and T. Kojiri: Discharge projection of the Yodo River basin with dam reservoirs using MRI's 20km-GCM and its impact assessments due to climate change, Proc. of the 4th conference APHW, 2008, 査読有.
- ⑤ M. Saber, T. Hamaguchi and T. Kojiri: Hydrological Modeling Considering Wadi System in Arid Area and its Application to Water Resources Management, Proc. of the 4th conference APHW, 2008, 査読有.
- ⑥ 浜口俊雄・小尻利治・森英祐：ダム貯水モデルを組み込んだ流域環境評価モデリング，京都大学防災研究所年報，第51号，pp. 737-749，2008，査読無.
- ⑦ Mohamed SABER・浜口俊雄・小尻利治：Surface Runoff Modeling of Ephemeral Streams Considering Homogenization Theory in Arid Regions, Wadi Assiut in Egypt, 京都大学防災研究所年報，第51号，pp. 769-784，2008，査読無.
- ⑧ 井本昂志・小尻利治・田中賢治・浜口俊雄：気候変動による流域水環境の変動特性に関する比較，京都大学防災研究所年報，第51号，pp. 799-814，2008，査読無.
- ⑨ 浜口俊雄・小尻利治・Mohamed Saber：均質化理論に基づくアップスケーリングの水文学的適用法，京都大学防災研究所年報，第50号B，pp. 759-764，2007，査読無.

〔学会発表〕(計4件)

- ① 浜口俊雄・佐藤嘉展・森英祐・田中賢治・小尻利治：バイアス補正をした超高解像度 GCM による淀川流域の将来流量予測，水文・水資源学会 2008 年度研究発表会要旨集，pp. 146-147，東京大学駒場Ⅱリサーチキャンパス・生産技術研究所（東京都），2008.8.26，査読無.

- ② M. Saber, T. Hamaguchi and T. Kojiri: Hydrological Model of Distributed Wadi System Considering Surface and Subsurface Runoff, 水文・水資源学会 2008 年度研究発表会要旨集，pp. 68-69，東京大学駒場Ⅱリサーチキャンパス・生産技術研究所（東京都），2008.8.27，査読無.
- ③ 浜口俊雄・小尻利治・M. Saber：アップスケール時に均質化された水文モデルパラメータ同定，水文・水資源学会 2007 年度研究発表会要旨集，pp. 44-45，名古屋大学地球水循環研究センター（名古屋市），2007.7.26，査読無.
- ④ 浜口俊雄・小尻利治：地盤・気象 GIS データと GCM を用いた地球温暖化の流域土・水資源量への影響評価，第 42 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp. 185-186，名古屋国際会議場（名古屋市），2007.7.6，査読無.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浜口 俊雄 (HAMAGUCHI TOSHIO)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：90263128

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

小尻 利治 (KOJIRI TOSHIHARU)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：00026353

野原 大督 (NOHARA DAISUKE)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：00452326