

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 3日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(c)

研究期間：2010～2012

課題番号：22580273

研究課題名(和文) 地球統計学でダウンスケールされた超高解像度GCMでの流域農地環境将来評価法開発

研究課題名(英文) Development of future agro-environment assessment method in river basins using super-high-resolution GCM outputs downscaled by geostatistical approach

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(和文)：現在だけでなく将来における降水量などの気象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、超高解像度 GCM の各格子点での出力値の統計的ダウンスケール補正だけでなく任意地点でのダウンスケール補正を可能にした。この補正結果を用いて現在・将来の水文流出解析を行い、流域の農地環境の長期変化を、作物など考察対象の生育適性度空間分布で評価検討する方法を開発提案した。これにより、同環境は将来大きな変化をもたらすことが空間的に示せたことから、農地環境の長期評価には有用な方法と言える。

研究成果の概要(英文)：The downscaled and model bias corrected GCM outputs not only at outputs points but also at arbitrary points in present and future periods got to be produced through the geostatistical method of kriging interpolation as this research result. Hydrological simulations using the abovementioned GCM outputs in present and future periods are carried out and then the numerical results can be used in the process of agro-environment assessment. The above method is developed and proposed in this research. It can be successfully shown that the agro-environment in space will be greatly changed in future via this agro-environment assessment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：水文，超高解像度 GCM

1. 研究開始当初の背景

昨今の気候変動による地球温暖化現象は、このまま引き続き将来に至るまで流域農地環境に影響を及ぼすことには疑いの余地がない。特に、河川流量、水温、降水量、積雪・

融雪量、気温、蒸発散量などの水文量・気象量のみならず、動物・植物の生態数、農産物、森林植生、季節植物特性(桜前線)などの分布も現在と比較して将来はどのように特性が変わるかについての予測は、流域農地環境を評価することに変重要な因子となる。そこ

には将来の気象予測が必要であるが、モデルでシミュレーションし、算出すること以外には手段がない。

ところで様々な温暖化シナリオに基づく気象の長期の大まかな変動傾向予測は大きなスケールでの GCM 計算から可能であっても、流域レベルでの話であれば 50m~1km 程度の計算格子を用いることになり、GCM で直接出力するには作業負荷が大きく計算コストも高いため現実的でない。GCM 出力を利用するにしても、これまでは IPCC の高解像度 GCM 出力が約 100km 格子上の算出値であったため、それを境界値に用いて RCM でのネスティング再計算(物理的ダウンスケーリング)をするか、地上の観測値を基にして統計的ダウンスケーリングとモデルバイアス補正を同時に実行することで細かな計算格子上の値を求めていた。そんな中、研究代表者は H24 年度まで推進されてきた文科省 21 世紀気候変動革新プログラムに参加しており、そこでは気象研究所が地球シミュレータで計算した空間解像度約 20km 格子という一般非公開の超高解像度 GCM 出力(以降、AGCM 出力と呼ぶ)を参加研究者に提供していた。なおこの 20km

格子が採用された理由は、日本の気象観測システムである AMeDAS の三角観測網の平均辺長を意識し、GCM 出力からの統計的ダウンスケールの補正影響を極力小さくするためである。これにより、バイアス補正がダウンスケール時の補正の主要因になると予想できるため、モデル誤差がよく理解できると期待できるからである。また、従来の高解像度が約 100km 格子のものであったことを鑑みると 25 倍もの細かさに至ったものと言え、これまで以上に細かな気象変化を様々な評価に使いやすくなると期待できる。よって、その出力を基にすれば、本研究課題の入力データとしては十分考察可能であると判断できる。

2. 研究の目的

本研究の第一目的は、地球統計学的手法によって任意地点での AGCM 出力値を統計的ダウンスケールする手法を開発することである。計算格子上の AGCM 出力値ならびに格子以外の地点での AGCM 補間値を、直接的に統計的ダウンスケーリング補正することは直ぐに欲しい算出結果を活用できることになり、大変大きな利益がある。これを分布型流出解析に入力項として用いる、または、直接的に変動評価に用いることで、近未来や百年先の流域農地環境の水文学的・生態学的・植生季節学的変化を一例的であるが詳細に予測することができるため、活用手法ならびに評価手法の開発が望まれる。この実現を

第二の目的とする。

3. 研究の方法

将来予測や所望時間の観測データ欠損の可能性も鑑みて、本研究では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。しかし研究代表者の所属期間では気象研究所と連携した文科省革新プログラムに基づく研究活動から、(当時)非公開の 20km サイズの出力を用いることが可能であり、これをベースに検討する。

地球統計学の一手法である kriging (クリギング)を用いるが、AGCM 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 AGCM 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 AGCM のモデルバイアス補正を同時に行う。今回は先述の通り、AGCM 計算格子サイズが地表観測網間隔に近い値であることから、モデルバイアスが主な補正対象となってくる。

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、1km 程度の計算格子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リングすることになる。

AGCM 出力ならびに流出解析結果から得られる環境評価には、農作物や森林植生などの考察対象値をメンバーシップ関数を用いて表現し、0 から 1 まで表現された適合度の時空間変化を月単位で追いかける。

4. 研究成果

まず地表観測点間の各気象量空間相関を地球統計学的手法によって求め、それを基に観測値ベースの空間補間を行い、任意地点での疑似観測値分布を推定する。その上で計算格子上の AGCM 出力値とその地球統計学的補間値を比較することで、モデルバイアス補

正が主となる統計的ダウンスケーリングによる AGCM 補正パラメータを決める。これを各観測点毎に検討することで、その補正パラメータの空間分布が得られ、そのパラメータ分布を地球統計学的に空間補間して推定できるようにした。これにより、非観測域の任意位置での AGCM 出力値の補正が可能となり、AGCM 補間値から直接統計的ダウンスケーリングされた値を求める事が出来る。AGCM データが非常に大きく、計算に多大な時間を要したが、実用に耐えうる結果ができた。

研究代表者の雑誌論文⑦⑧⑨⑩にもあるとおり、補正のために降水発生確率ならびに気温の確率密度関数を月単位で考え、その確率が同じになるように AGCM 出力の降水量ならびに気温に対して同関数へのスケール較正を行う。(図 1 参照)

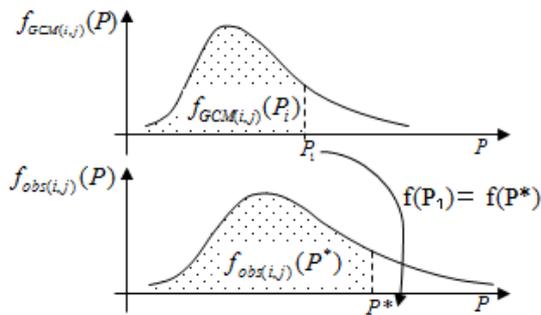


図 1：降水発生確率の確率密度関数補正

ここでの例として、ベトナム・ハノイで降水量ならびに気温の補正を行い、その結果は図 2 のようになった。またそのときの対応する標準偏差は図 3 のようになった。

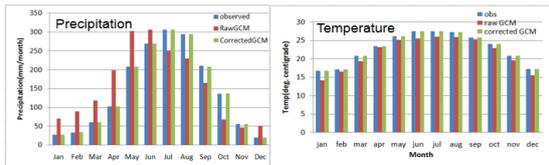


図 2：補正された降水量・気温例

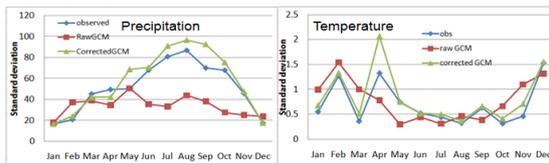


図 3：補正された降水量・気温標準偏差

これらからも AGCM の生データ(赤)よりも補正結果(緑)が地表観測データ(青)に近くなっていることが分かり、その補正効果がうかがえる。

この較正係数が空間分布していると考え、各観測地で同係数を求めた後、それをベースとして kriging で空間分布を算出推定した。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、

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

となり、観測値の分散平均値は

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

となる。ここに a_0 , σ_0^2 はそれぞれの空間平均値、 C , 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、 $c(x, y)$, $g(x, y)$ 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、 w , 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、考察対象値が任意地点でも得られるようになる。つまり x, y に AGCM 計算点の座標値を入れれば、較正係数が得られ、AGCM 出力各点での値は直ちに補正できるようになった。図 4 は降水量ならびに気温の較正係数分布である。

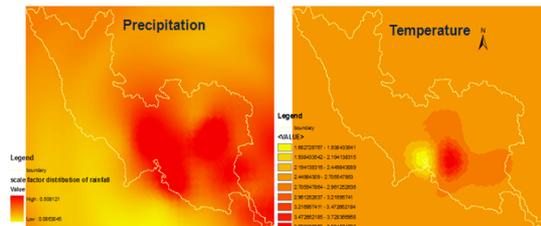


図 4：降水量・気温の較正係数分布

赤くなる程、較正係数が大きくなり、黄色くなるほど較正係数が小さくなる。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。この詳細に関しては雑誌論文⑦⑧⑨⑩に述べている。

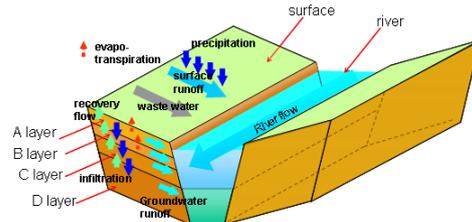


図 5：Hydro-BEAM 概念図

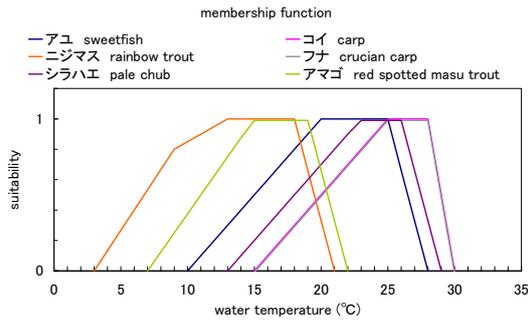


図6：魚類の水温メンバーシップ関数

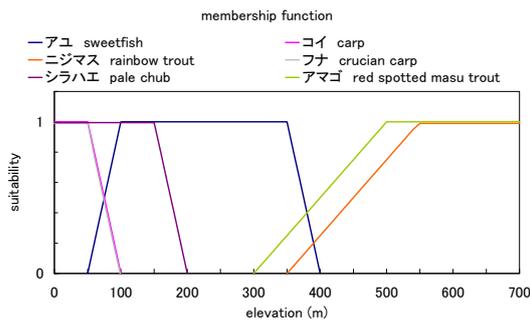


図7：魚類の標高メンバーシップ関数

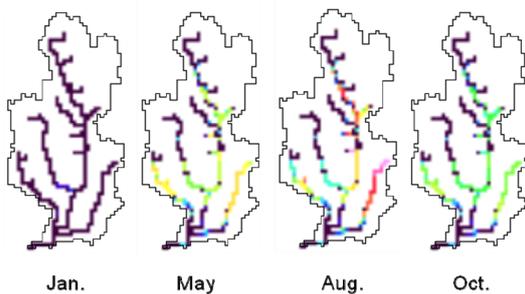


図8：アユの生息域適性度（現在）

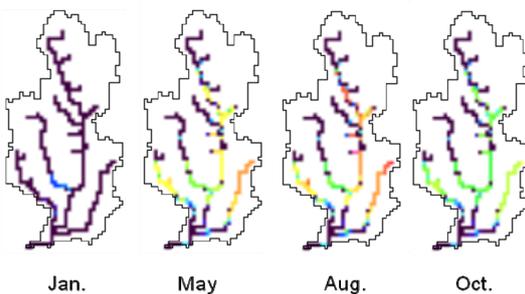


図9：アユの生息域適性度（100年先未来）

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。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5に示すようなHydro-BEAMという分布型流出モデルを用いた。これにより、農用地が将来どう変化するかが見える。

一例として、図9には長良川流域における河川の魚類に関する生息域適性度ならびに現在の代表的な農作物生育適合度を示す。

河川の魚類に関する生息域適性度は水温のメンバーシップ関数 $T(x)$ と標高のメンバーシップ関数 $G(x)$ を用意し（図6、図7）、 $T(x)G(x)$ という積で各魚類の生息域適合度を推し測った。また図8、図9にアユの結果を示す。図中は赤に近づく程適合度が高く、暗色になるほど適合度がゼロに近いことを示している。違いがわかりにくい、冬場には将来適合度が上がり、夏場になると下流の適合度が下がる傾向を示している。

農作物生育適合度に関しては、水温メンバーシップ関数の代わりに10度以上の積算気温メンバーシップ関数、標高メンバーシップ関数の代わりに10度以上の日数メンバーシップ関数を用いる。イネについては各作業の適性時期などをメンバーシップ関数にしている。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という計算前の予想通りの結果を得られた。こうした細かな土地の気候変化も各種水水量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、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(1)(2)の a_0 , σ_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。

以上から、AGCM出力とkriging推定手法の利用により、観測情報の乏しい流域でも水文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ならびに流域農地環境の評価が可能となり、本研究の成果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14件）

- ① M. Saber, T. Hamaguchi, K. Tanaka, S. A. Kantoush and T. Sumi : Mitigation Strategies Based on Flash Floods Simulation Considering Water Resources Management at Wadi El-Arish, Sinai Peninsula, Egypt, ICOLD 2012 KYOTO, International Symposium on DAMS FOR A CHANGING WORLD -Need for Knowledge Transfer across the Generations & the World held on June 5, pp. (1-87)-(1-92), 2012, 査読有.
- ② T. Hamaguchi, A. Kamal, T. Sumi, M. Saber and T. Kojiri : Basin-scaled Groundwater Modeling and Fundamental Consideration of Seawater Intrusion, Proc. of The Second JE-HydroNet Symposium on the Nile River System and the Delta of Egypt, pp.42-43, 2012, 査読有.
- ③ A. Kamal, T. Hamaguchi, T. Sumi, K. Tanaka and M. Saber : Two-dimensional Horizontal Basin-scaled Groundwater Modeling with Moving Boundary of the Nile River Delta, Proc. of The Second JE-HydroNet Symposium on the Nile River System and the Delta of Egypt, pp.87-88, 2012, 査読有.
- ④ 浜口俊雄・田中拓馬・小槻峻司・田中賢治・峠嘉哉・安部雅宏：分布型流出モデルに沿ったマクロスケールでの土砂生産・輸送モデリングの基礎的研究，京都大学防災研究所年報，第55号，pp.501-509，2012，査読無.
- ⑤ Mukta SAPKOTA, Toshio HAMAGUCHI and T. Kojiri : Numerical Analysis of Flooding Impacts Using Hydro-BEAM in Red River Basin, Vietnam, 京都大学防災研究所年報，第54号，pp.683-689，2011，査読無.
- ⑥ 浜口俊雄・小尻利治・Mukta SAPKOTA : 分布型流出モデルと統合化可能な内・外水氾濫マクロモデルの開発，京都大学防災研究所年報，第54号，pp.673-681，2011，査読無.
- ⑦ M. Sapkota, Hamaguchi, T. and Kojiri, T. : Flood Inundation Simulation Using Hydro-BEAM in Red River Basin, Vietnam, Proc. of 5th International Conference on Flood Management (ICFM5), Tokyo, 2011, 査読有.
- ⑧ M. Sapkota, Hamaguchi, T. and Kojiri, T. : Numerical Demonstration of Distributed Hydrological Modelling Performance Based on Super High Resolution GCM Outputs Using Geostatistical Approaches, Proc. of the 13th International Summer Symposium, The International Activities Committee of JSCE, Kyoto, 2011, 査読有.
- ⑨ T. Hamaguchi, M. Sapkota, and T. Kojiri : Numerical Demonstration of Distributed Hydrological Modelling Performance Based on Super High Resolution GCM Outputs Using Geostatistical Approaches, Proc. of the 34th Congress of the IAHR, 2011, 査読有.
- ⑩ T. Hamaguchi, M. Saber and T. Kojiri : Theoretical Approaches to Initial and Transmission Losses in Wadi System Considering the Compatibility with Empirical models, Proc. of 5th Int. Conf. on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, 2010, 査読有.
- ⑪ M. Sapkota, T. Hamaguchi and T. Kojiri : Geostatistical Bias Correction of Super High Resolution GCM outputs under Climate Change and its application to Runoff Simulations in Red River Basin, Proc. of 5th Int. Conf. on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, 2010, 査読有.
- ⑫ Mukta SAPKOTA・浜口俊雄・佐藤嘉展・小尻利治：Hydrological Simulations in Red River Basin Using Super High Resolution GCM Outputs with Geostatistical Processes，京都大学防災研究所年報，第53号，pp.675-682，2010，査読無.
- ⑬ Mohamed SABER, Toshio HAMAGUCHI, Toshiharu KOJIRI and Kenji TANAKA : HYDROLOGICAL MODELING OF DISTRIBUTED RUNOFF THROUGHOUT COMPARATIVE STUDY BETWEEN SOME ARABIAN WADI BASINS, 水工学論文集第54巻，土木学会水理委員会，pp.85-90，2010，査読有.
- ⑭ 浜口俊雄・小尻利治：地下水文量分布に関する時空間地球統計学的推定手法の提案，水工学論文集第54巻，土木学会水理委員会，pp.583-588，2010，査読有.
- [学会発表] (計6件)
- ① 浜口俊雄・角哲也・A. Kamal : 地下水涵養量変動による沿岸域帯水層塩水侵入長変化の理論的考察，水文・水資源学会2012年度研究発表会要旨集，pp.22-23，広島市西区民文化センター（広島県），2012.9.26-28，2012，査読無.
- ② 浜口俊雄・小尻利治・Mukta SAPKOTA : 流出解析に利用するための内・外水氾濫水伝播モデルの提案，水文・水資源学会2011年度研究発表会要旨集，pp.56-57，京都大学宇治キャンパス（京都府），2011.8.30-9.1，2011，査読無.
- ③ M. Sapkota, T. Hamaguchi and T. Kojiri : Effects of Climate Change in Red River Discharges and Flooding Risk in Hanoi,

水文・水資源学会 2011 年度研究発表会要旨集, pp. 298-299, 京都大学宇治キャンパス (京都府), 2011. 8. 30-9. 1, 2011, 査読無.

- ④M. Sapkota, T. Hamaguchi and T. Kojiri: Geostatistical Bias Correction of Super High Resolution GCM Outputs and its Application to Runoff Simulations in Red River Basin, 水文・水資源学会 2010 年度研究発表会要旨集, pp. 52-53, 法政大学市ヶ谷キャンパス (東京都), 2010. 9. 7-9, 査読無.
- ⑤M. Saber, T. Hamaguchi and T. Kojiri and Kenji Tanaka : Application of GSMaP Precipitation to Flash Flood Simulation at the Nile River Basin Considering Wadi System, 水文・水資源学会 2010 年度研究発表会要旨集, pp. 48-49, 法政大学市ヶ谷キャンパス (東京都), 2010. 9. 7-9, 査読無.
- ⑥ 浜口俊雄・M. Saber・小尻利治: ワジ流出機構での移動通過損失量に関する理論的解釈, 水文・水資源学会 2010 年度研究発表会要旨集, pp. 46-47, 法政大学市ヶ谷キャンパス (東京都), 2010. 9. 7-9, 査読無.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] [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

なし