

気候変化予測から南米水資源影響評価への不確実性伝播

塩竈秀夫¹, 江守正多^{1,2}, 花崎直太¹, 阿部学¹,
増富祐司³, 高橋潔¹, 野沢徹¹

¹国立環境研究所 ²東大CCSR ³埼玉県環境科学国際センター

1. はじめに

通常、地球温暖化の影響評価は、大気海洋結合モデル（以下 AOGCM）による気候変化予測実験を入力データとして用いる。そのため気候変化予測の不確実性が、影響評価の不確実性へと伝播すると考えられる。しかし、どのような気候変化予測の不確実性が影響評価の不確実性に伝播しやすいかについて、十分な研究は行われてこなかった。

多くの影響評価研究では、ローカルな気候変化予測とローカルな影響評価の関係を議論してきた。しかし、気候変化予測の不確実性は、大きな空間スケールを持つ。また、影響評価研究では、ローカルな現在気候再現性を評価して、ローカルな気候変化予測および影響評価の不確実性を制約する試みが行われている。しかし、大気規模空間スケールを持つ気候変化予測の不確実性は、ローカルな現在気候再現性の評価では、制約できないと考えられる。

本研究では、ローカルな影響評価の不確実性とグローバルな気候変化予測の不確実性との関係を調べるために、気象・気候研究でしばしば用いられる統計解析手法を導入する。ここでは、例として、南米大陸の水資源影響評価に不確実性をもたらす気候変化予測の不確実性の特徴を調べる。さらに、影響評価の不確実性と関係が深い現在気候のバイアスを明らかにすることで、影響評価の不確実性の制約を試みる。

2. モデル実験と解析手法

ここでは、全球水資源影響評価モデル (Hanasaki et al. 2008) を用いて、南米大陸の水資源影響評価を行った。入力した気候変化予測は、CMIP3 の 1 4 AOGCM の気温変化と降水量変化 (SRES A2 シナリオ実験) である。出力は 1 4 種類の年平均流出量変化

予測である。計算の詳細は、Shiogama et al. (2009) を参照されたい。本研究では、全球平均気温変化の不確実性は取り扱わない。そのため気候変化予測、影響評価の出力データは、各 AOGCM の全球平均気温変化で正規化する。またアンサンブル平均からのずれを解析する。

影響評価の不確実性と気候変化予測の不確実性との共分散関係を解析するために、「流出量変化」と「気温変化と降水量変化の組み合わせ」の間の共分散行列を計算し、特異値分解解析 (Bretherton et al. 1992; Wallace et al. 1992; von Storch and Zwiers 1999) を行った。その際、気温変化と降水量変化では単位が異なるため、それぞれ各グリッドでのモデル間標準偏差の全球平均値で正規化した (c. f. Gyalistras et al. 1994)。

3. 結果と議論

図 1 a-c は、南米大陸の流出量変化予測と全球の気温変化・降水量変化予測に対する共分散行列の第 1 特異ベクトルの空間パターン (heterogeneous regression map) を表している。図 1 a は、アンサンブル平均に対して北側で流出量が少ないモデルは、南側で流出量が多くなることを示すパターンである。この流出量のパターンと共分散が大きいのが、図 1 b, c の気温変化・降水量変化のパターンである。赤道東太平洋での気温上昇が強い (エル・ニーニョ型の気温上昇パターンが強く現れる) モデルほど、南米北部では降水量が減少し、南米南部では降水量が増加している。このため、そのようなモデルでは、図 1 a のような流出量の変化パターンが現れることがわかった。

図 1 d-f は、第 2 モードの空間パターンを表している。図 1 d は、アンサンブル平均に

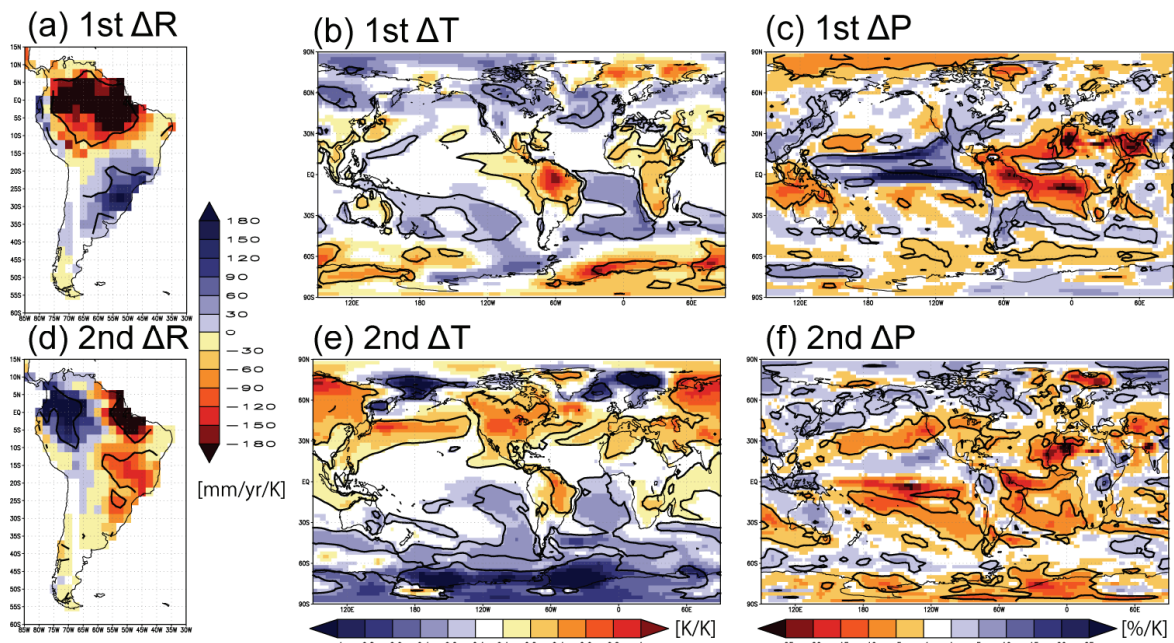


図1: 上図は, (a) 流出量 [mm/yr/K], (b) 気温変化 [K/K], (c) 降水量変化 [%/K]の第1モード. コンターは, 相関係数が±10%で統計的に有意な場所を示す. 下図は, 第2モード.

対して東側で流出量が少ないモデルは, 北西側で流出量が多くなることを示すパターンである. この流出量のパターンが正に強く出るモデルは, 北半球で気温上昇が大きく, 南半球で気温上昇が小さい. また気温変化パターンと整合的に, 熱帯収束帯 (ITCZ) の北偏が顕著である.

流出量モードの展開係数 (各モデルが図 1 a, d の何倍の偏差を持つかの指標) と, AOGCM の現在気候実験との間の相関関係を調べた. その結果, 流出量第1モードが正に大きな展開係数を持つ AOGCM は, 現在気候においてウォーカー循環が強いことがわかった. 現在気候のウォーカー循環が強い→エル・ニーニョ型の気候変化が大きい (ウォーカー循環が弱まる)→図 1 a の流出量変化パターンの特徴が強く出る, という関係が示唆された. また, 第2流出量モードは, ハドレー循環の強弱と関係しており, 現在気候のハドレー循環が強い→ITCZ の北偏が大きい (ハドレー循環の上昇, 下降域が大きく変化する)→図 1 d の流出量変化パターンの特徴が強く現れるという関係が示された.

本研究ではさらに, 各モデルの現在気候の気温バイアス [ERA40 (Uppala et al.

2005) に対するバイアス]と降水量バイアス [CMAP (Xie and Arkin 1997) に対するバイアス]を, 流出量モードと関係の深い現在気候パターンに射影することで, 流出量モードに關係するバイアスの大きさ (メトリック) を評価した. その結果, 重要な発見として, アンサンブル平均予測は, 現在気候の再現性に無視できないバイアスがあることがわかった. もっともバイアスが少ないのは, 第1, 第2流出量モードの展開係数が, とともに+1標準偏差であるときだとわかった.

図 2 e は, 流出量のアンサンブル平均予測である. ナイーブに考えた場合, このアンサンブル平均予測がもっとも信頼できると考えられる. 図 2 c (第1, 第2流出量モードの展開係数が共に+1標準偏差) は, ナイーブには, アンサンブル平均予測より信頼性が低いと考えられる. しかし, このようなナイーブな仮定の根拠はない. 本研究によって, 図 2 c が最も信頼性が高く, アンサンブル平均予測はそれよりも信頼性が低いということがわかった. アマゾン川流域の流出量は, アンサンブル平均予測では増加であるが, もっとも信頼性の高い予測では減少である. これは, 炭素循環フィ

The 1st mode of ΔR

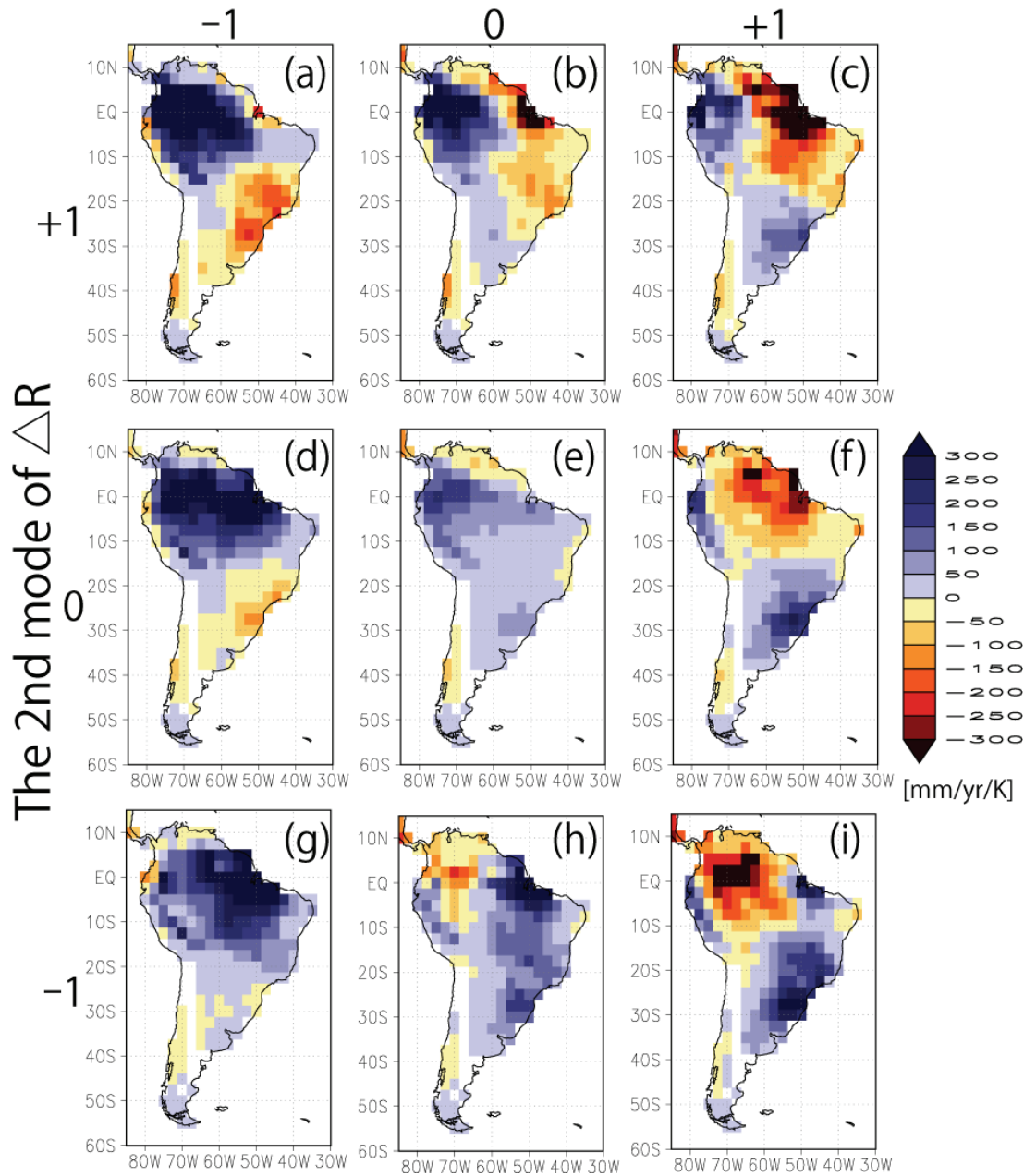


図2：第1，第2流出量モードの展開係数を-1標準偏差から+1標準偏差まで振った時の流出量変化予測の不確実性。パネル(e)は，アンサンブル平均予測を表す。

ードバックにとって重要な結果である。ただし，Amazon rainforest dieback (Cox *et al.* 2000, 2004; Malhi *et al.* 2009)が起きるかどうかは，炭素循環モデルの不確実性，信頼性を評価しなければ，判断することは出来ない。

謝辞

本研究は，環境省地球環境研究総合推進費「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」(S-5)および文部科学省21世紀

気候変動予測革新プログラム「高解像度気候モデルによる近未来気候変動予測に関する研究」のもとに行われた。

参考文献

- Bretherton, C. S., C. Smith, and J. M. Wallace, 1992: An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*, **5**, 541-560.
- Cox P.M., R.A. Betts, M. Collins, C. Harris, C. Huntingford, and C. D. Jones (2004): Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century, *Theoretical and Applied Climatology*, **78**, 137-156.
- Cox P.M., R.A. Betts, C.D. Jones, S.A. Spall, and I.J. Totterdell (2000): Acceleration of global warming due to carbon cycle feedbacks in a coupled climate model, *Nature*, **408**, 184-187
- Gyalistras, D., H. von Storch, A. Fischlin, and M. Beniston, 1994: Linking GCM simulated climatic changes to ecosystems models. Case studies of statistical downscaling in the Alps. *Climate Res.*, **4**, 167-189.
- Hanasaki, N., Kanae, S., Oki, T., Masuda, K., Motoya, K., Shirakawa, N., Shen, Y., and Tanaka, K.: An integrated model for the assessment of global water resources - Part 1: Model description and input meteorological forcing, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **12**, 1007-1025, 2008.
- Malhi, Y., L. E. O. C. Aragão, D. Galbraith, C. Huntingford, R. Fisher, P. Zelazowski, S. Sitch, C. McSweeney, and Patrick Meir (2009): Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106**, 10.1073/pnas.0804619106.
- Shiogama, H., N. Hanasaki, Y. Masutomi, T. Nagashima, T. Ogura, K. Takahashi, Y. Hijioka, T. Takemura, T. Nozawa and S. Emori, 2009: Emission scenario dependencies in climate change assessments of the hydrological cycle. *Clim. Change Lett.*, accepted.
- Uppala, S. M., and co-authors, 2005: The ERA-40 re-analysis, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 2961-3012.
- von Storch, H. and F. W. Zwiers 1999: *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wallace, J. M., C. Smith, and C. S. Bretherton, 1992: Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies, *J. Climate*, **5**, 562-576.
- Xie and Arkin, 1997: Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 2539-2558.