

擬似温暖化実験*

地球温暖化に伴う気候変動の影響評価と適応策検討のために、国や地域スケールの気候にどのような変化が起こるのかを知る必要がある。このような地球規模の気候変動が各地域の気候へ与える影響を調べるために、ダウンスケールという空間詳細化の手法が採用される。ダウンスケールは力学的ダウンスケールと統計的ダウンスケールに大別されるが（詳しい説明は稲津・佐藤 2010を参照）、ここで解説する擬似温暖化実験は力学的ダウンスケール手法の一つである。一般的な地球温暖化予測の力学的ダウンスケールでは、GCMの6時間ないしは12時間程度の時間間隔の3次元（ x , y , z ）データを境界値として与えた地域気候モデル[†]の実験を行う（以降では、このような方法を「GCMからの直接ダウンスケール」と呼ぶことにする）。実験は現在気候および将来気候についてそれぞれ行われ、両者を比較することで地域スケールの気候変化を議論することになる。

このようなGCMからの直接ダウンスケールに代わって、Kimura and Kitoh (2007) は次のような手順で行う擬似温暖化実験手法を提案した。(1) 現在気候の実験においては、6時間程度の間隔の再解析データを境界値とする地域気候モデルの過去再現実験を行う。(2) 将来気候のダウンスケールは、(1)の再解析データに地球温暖化による大規模場の変化を加えたデータセットを用意し、これを境界値とする実験を行う。ただし、大規模場の変化は、GCMによって予測された諸物理量（気温、水蒸気量、気圧、風速など）の現在気候と将来気候の差の3次元分布を用いる。最後に、現在気候実験(1)と温暖化実験(2)を比較することで、国や地域スケールの気候の変化を予測することになる。GCMから得る大規模場の変化として、月毎の10年～30年平均値が用いられることが多い。Sato *et al.* (2007) では、GCMからの直接ダウンスケールと擬似温暖化手法によるダウンスケールの比較

を行い、擬似温暖化手法による利点と欠点について述べている。なお、再解析データの気温や水蒸気量を水平一様に上昇させる実験は、Frei *et al.* (1998) らが先行して実施している。ここで述べる擬似温暖化実験は、地球温暖化に伴う各物理量の3次元的变化を考慮するものであり、ある程度広い領域での地域気候も扱うことができる。ここで述べる擬似温暖化実験は、筆者の知る限り、日本で初めて行われた数値実験であり、同様の手法は海外でも試みられるようになってきている（たとえばKnutson *et al.* 2008）。

擬似温暖化実験を行う大きな利点は二つある。一つ目は、地域スケールの現在気候の再現性の向上である。領域モデルは側面境界を持つため、側面における物理量をGCMや再解析データから受け取ることになる。GCMからの直接ダウンスケールの場合、現在気候の再現性はGCMによる現在気候の再現性に強く依存することとなる。しかし、地域気候予測のように対象領域が狭くなればなるほど、GCMと観測値との間の誤差は無視できなくなることが多く、ダウンスケールした結果もこのような誤差を含んでいることになる。一方、擬似温暖化実験では、様々な観測データを基に作成された再解析データを境界値として採用するため、現在気候の再現性は必然的に向上する。また将来気候については、GCMによって得られる現在と将来の差の成分だけを用いるため、GCMが持つバイアスを除去していることにもなる。

GCMからの直接ダウンスケールでは、モデル中のある特定の1年と実際の年是一对一で対応しないため、少なくとも10年程度の実験を行ってからでないと、観測データとモデル結果の比較を行うことができない。このことから、領域モデルの再現性を評価する段階においても、多くの計算が必要となる。一方、擬似温暖化手法では、過去の特定年について再現実験を行うことになるため、それぞれの年の観測データと実験結果を比較することができる。このことは、気象だけでなく影響評価の各分野においても有用であると考えられる。

* Pseudo global warming experiment.

© 2010 日本気象学会

二つ目の利点は、データハンドリングが容易なことである。上で述べたように、GCMからの直接ダウンスケールでは高頻度のGCMの3次元出力値が必要となるが、このデータは容量が大きく、CMIP^{††}などのモデル相互比較プロジェクトでもほとんど提供されていない。したがって、それぞれの研究機関から大容量のデータを直接提供してもらうことになる。近年、複数のGCMからそれぞれ直接ダウンスケールを行い、予測の不確実性の幅についての情報を示すことが求められている。しかし、十分な数のGCMについて直接ダウンスケールを実施するためには、複数の機関から膨大なデータを収集する必要があり、国際的な大型プロジェクト以外ではほとんど不可能である。それに対して、擬似温暖化実験で使用するGCMデータは低時間分解能の3次元場のみであり、必要なデータ量は直接ダウンスケールに比べてはるかに小さい。また、上記(2)で与える総観規模場の変化成分として、複数のGCMから得られる予測値のアンサンブル平均を用いれば、複数のGCMによる予測を反映した形で、将来の地域気候予測を行うことが可能になるかもしれない。Kawase *et al.* (2009)は、7つのGCMからそれぞれ擬似温暖化実験でダウンスケールした7通りの予測と、7つのGCMのアンサンブル平均で得た大規模場の偏差を用いる1回の擬似温暖化実験で、梅雨前線の変化傾向がよく似ていることを示している。

このように、擬似温暖化実験では領域モデルによる現在気候の再現性向上やGCMのバイアス除去、データハンドリングコストの軽減とその特徴を利用した簡便なマルチモデルアンサンブルのダウンスケーリング、など様々な予測実験が可能となることが分かる。しかし、そもそもこのような簡単な方法で、将来の気候を予測することができるのだろうか？ Kawase *et al.* (2008)では、すでに観測が得られている過去の気候に対して、手法の妥当性を検討している。彼らの実験では、1960年代を現在、1990年代を将来と見立てて、1960年代の日々の再解析データと30年間の総観場の平均的な変化成分のみを使用した擬似温暖化実験を行い、過去に起こった梅雨の変化を捉えることに成功している。今後、擬似温暖化手法の妥当性を示すためにも、梅雨以外の現象や他の地域においても同様の実験を行う必要があるだろう。

さて、ここまで擬似温暖化手法の長所ばかりを述べてきたが、最後に今後克服すべき問題点について触れる。この手法では、地球温暖化による影響として10年

程度の時間平均した変化成分を与えているのみで、日々の天気を左右する中緯度の総観規模擾乱や熱帯擾乱については現在の気候に基づいている。さらに、極端現象の年々変動や頻度（たとえば極端な渇水年や洪水の頻度がどのように変化するのか、等）については限定的な議論をせざるを得ない。しかし、気候変動に伴う極端現象の頻度の変化予測は、社会的なニーズが非常に大きい。そのため、これらの年々変動も考慮できるような擬似的な境界値の作成が今後の課題であり、現在、新しい手法の考案とその検証が行われている。この点については、今後の報告を待ちたい。

[†] 領域気候モデルあるいは領域モデルと呼ぶこともある。

^{††} Coupled Model Intercomparison Project

参考文献

- Frei, C., C. Schär, D. Lüthi and H. C. Davies, 1998 : Heavy precipitation processes in a warmer climate. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1431-1434.
- 稲津 将, 佐藤友徳, 2010 : 大は小を兼ねるのか : ダウンスケーリング. 『水循環環境科学』における分野横断的な議論のための入門解説～ダウンスケーリング・エアロゾル・層積雲・データ同化～. *天気*, **57**, 印刷中.
- Kawase, H., T. Yoshikane, M. Hara, B. Ailikun, F. Kimura and T. Yasunari, 2008 : Downscaling of the climatic change in the Mei-yu rainband in East Asia by a pseudo climate simulation method. *SOLA*, **4**, 73-76.
- Kawase, H., T. Yoshikane, M. Hara, F. Kimura, T. Yasunari, B. Ailikun, H. Ueda and T. Inoue, 2009 : Intermodel variability of future changes in the Baiu rainband estimated by the pseudo global warming downscaling method. *J. Geophys. Res.*, doi : 10.1029/2009JD011803, in press.
- Kimura, F. and A. Kitoh, 2007 : Downscaling by pseudo global warming method. The Final Report of ICCAP, 43-46.
- Knutson, T. R., J. J. Sirutis, S. T. Garner, G. A. Vecchi and I. M. Held, 2008 : Simulated reduction in Atlantic hurricane frequency under twenty-first-century warming conditions. *Nature Geosci.*, **1**, 359-364.
- Sato, T., F. Kimura and A. Kitoh, 2007 : Projection of global warming onto regional precipitation over Mongolia using a regional climate model. *J. Hydrol.*, **333**, 144-154.

(北海道大学大学院地球環境科学研究院 佐藤友徳)