

気候変動情報データベースの構築とその活用手法

道広有理・佐藤嘉展・鈴木靖

要 旨

気候変動による影響評価では、多くの場合全球気候モデル（GCM）の実験結果に基づいて外力を設定されるが、データ量が膨大であることからモデルの出力値を直接扱うことが可能な利用者は限定される。本研究では、GCMの実験結果のうち降水量や気温をはじめとした地上気象要素についてデータを収集し、地域メッシュ統計による第1次地域区画（約80km四方）単位に情報を整理し、データベース化を行った。これにより、日本国内の任意の地域において複数のGCMが予測する将来気候変化を把握できることに加え、観測値および再解析値の情報も併せて整理したことで個々のGCMにおける現在気候再現性を検証することも可能となった。さらに、本データベースの情報を一般に提供するためのWEBサイトを開発した。

キーワード：気候変動，GCM，データベース，マルチモデルアンサンブル，WEBサイト

1. はじめに

地球温暖化による気候変動は、我々の生活や産業に様々な影響を及ぼすことが懸念されている。温暖化への対策については、温室効果ガスの排出を抑制することに加え、温暖化後の気候変化に備えて適応策を講じておくことが挙げられる。前者については、温室効果ガス排出量は依然として単調増加傾向にあり（International Energy Agency, 2010）、温暖化の緩和策には限界がある。したがって、温暖化の様々な影響への適応策を講じるために、外力となる気候変化の程度についての的確に推定することが重要となってくる。

適応策を検討するにあたって基本となるのは、将来の気温、降水量、風速、日射量などの予測情報である。気候変動の予測情報はGCM（Global Climate Model）と称される全球気候予測モデルの実験結果を解析したものであり、例えばIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）の第4次評価報告書（IPCC, 2007）の中で引用されているCMIP3（Coupled Model Intercomparison Project phase 3）の複数のGCMによる実験結果はWebサイトで公開されているため、研究目的であれば誰でも利用できる情報である。

GCMは全球を対象としたシミュレーションであるため、一般にデータサイズは膨大なものになる。例えばCMIP3の実験結果は、20世紀再現実験の2次元

（地表面）データに限っても1TB以上のサイズがあり、データの入手だけでも大変な労力と時間を要する。さらに、実際の解析等に利用するためには専門的な知識を必要とするため、データを処理すること自体に困難が伴う。また、コンピュータモデルによる予測には不確実性が避けられない（木本, 2009）ため、複数のGCMの結果を比較・検証することも重要である。

こういったGCMの結果を幅広く利用するためには、実験結果の生データを加工し、必要な情報に予め変換しておくことが望ましい。特に実務者レベルで温暖化の適応策を検討する場合、GCMデータのハンドリングに要する労力を極力減らし、計画策定や施設管理など本業に専念できる環境であることが必要である。例えば、Murphyら（2009）はGCMのデータを解析してイギリス全土における気候変化情報をデータベース化している。このプロジェクトは将来気候シナリオUKCP09と呼ばれており、イギリス国内における気候リスク評価・適応策検討を支援することを目的にイギリス気象庁主導で実施されたものである。UKCP09はGCM出力値に対して力学的ダウンスケーリングを行い、様々な不確実性を定量化した上で将来予測情報を確率的に示しており、WEBサイトを通じて情報を入手することが可能となっている。

以上の背景から、GCMによる実験結果および既存の観測値等を収集し、膨大なデータの中から必要な

情報を抽出して整理・翻訳した気候変動情報データベースを開発した。本研究の動機は前述したUKCP09と同じものであり、日本国内の任意の地域を対象に、複数のGCM出力値を整理することを目的とする。その際、ダウンスケーリングやバイアス補正は行わず、GCM本来の特性を損なわないことを重視してデータベース化を行った。ここでは気候変動情報データベースの内容と、それを利用した研究手法を紹介する。

2. 気候変動情報のデータベース化

2.1 データベース化の手法

(1) 対象とするデータおよび項目

収集したデータはTable 1に示すとおりであり、CMIP3による25のGCM、気象庁気象研究所の超高解像度全球大気モデルMRI-AGCM（3.1S/3.2Sの2モデル）、再解析値（数値予報モデルにより観測値を再現したデータ）であるJRA-25（Onogiら、2007）および気象庁のアメダス観測値である。MRI-AGCMの将来予測は、A1Bシナリオ（大気中の温室効果ガス濃度が21世紀末頃に20世紀末の約2倍）による実験結果である。CMIP3についてはA1B、A2およびB1における実験結果を収集した。CMIPのいくつかのGCMについては複数の実験結果（摂動実験）を公開しているが、道広ら（2010）によると同一モデルによる複数ランの差異は小さいため、1モデル1ランで代表させた。

Table 1 List of data sets.

Data set	Interval of data	Present	Near Future	Future
25 GCM in CMIP3	125-444 km	1980-1999	2046-2065	2080-2099
MRI-AGCM 3.1S/3.2S	20 km		—	
JRA-25	125 km		—	
ReAnalysis AMeDAS	around 20 km		—	

対象期間はTable 1に示すとおりであり、現在（1980～1999年）、近未来（2046～2065年）および将来（2080～2099年）の各20年間とし、各期間内の年変動は考慮せず、期間平均値について解析を行った。対象とする気象要素は、降水量、降雪水量、気温、地表面温度、東西方向風速、南北方向風速、風速、比湿、潜熱フラックス、顕熱フラックス、下向長波放射量、上向長波放射量、下向短波放射量、上向短波放射量および海面気圧の16要素とし、それぞれの月別値を用いて解析を行った。気温については気温減率（0.0065 °C/m）による標高補正を行っている。全ての期間および気象要素についてデータが揃っているわけではないため、利用可能なGCMや気象要素の数は異なっている。

(2) データの整理方法

異なる解像度のデータは統一的に扱うことが難しいため、国内の統計や地理情報の提供時に標準的に用いられている、地域一次メッシュ（約80 km四方）単位で整理した。GCMの水平解像度は、Table 1に示すように粗いもので数百 kmあり、CMIP3のGCMおよびJRA-25については一次メッシュの解像度よりも粗い。これらについては、Fig. 1に示すように一次メッシュの中心点を基準に各GCMの直近4格子のデータについて単純平均した。単純平均した理由はGCMによる日本列島の表現が粗い場合は水平方向の位置関係が現実と一致せず、距離や陸面格子による重みづけは必ずしも有効とは限らないことと、データ本来の特性になるべく手を加えないようにするためである。また、GCMの格子点4つを単純平均することにより、一つの格子点データに依存しすぎないことを意図している。一方、MRI-AGCMおよびアメダス観測値については、データの解像度が一次メッシュよりも細かいため、一次メッシュ内に含まれる全ての格子点（観測点）のデータを単純平均した。アメダスについては一次メッシュにより含まれる観測点数が異なることになるが、ここではその影響は考慮していない。

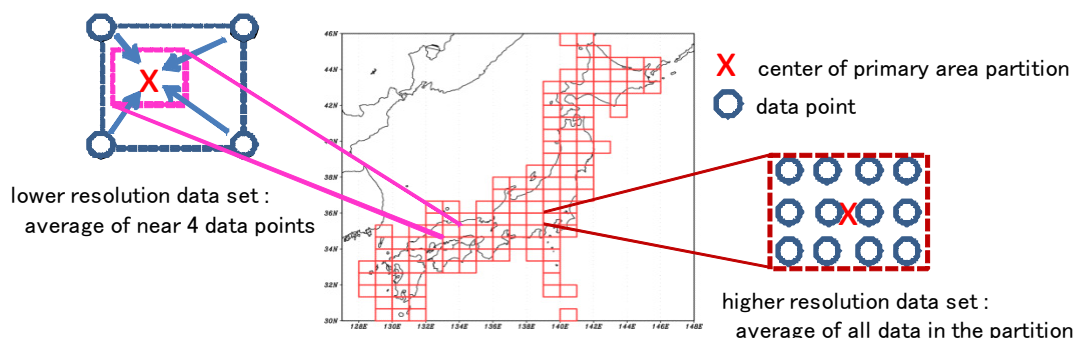


Fig. 1 Data arrangement based on primary area partition of grid square method.

Table 2 Analysis data stored in database.

Item	Value	Number
present climate	monthly mean value	12
future climate	monthly mean value	12
reproducibility	coefficient of correlation	1
	RMSE	1
climate change value	ratio of change	12
	amount of change	12

この手法に従って各種データを期間ごとに平均し、月別の期間平均値を算出した。さらにGCMについては、現在気候と将来気候を比較した気候変化値（比もしくは差）についても求めた。気象要素ごとにTable 2に示す情報をデータベースに格納する。これにより、全国任意の一次メッシュごとに、複数のGCM出力値や観測値について相互に比較することが可能となる。

(3) GCM実験結果の検証方法

GCM出力値のうち、現在気候再現実験については、再解析値や観測値を基準データとして再現性を定量的に評価する。ここでは1980～1999年の20年間の月別平均値12個を対象に、相関係数およびRMSE（平均二乗誤差）を評価指標として算出した。各気象要素を同列に扱うことが可能なように、RMSEは式(1)により規格化している。評価指標は予め計算し、データベースに併せて格納しておく（Table 2参照）。

$$RMSE(i, m) \equiv \frac{\sqrt{\frac{1}{12} \sum_{n=1}^{12} (V(i, m, n) - V_0(i, n))^2}}{\sigma_0(i)} \quad (1)$$

ここで、 $RMSE(i, m)$ ：要素 i , GCM m の平均二乗誤差、 $V(i, m, n)$ ：要素 i におけるGCM m の n 月平均値、 $V_0(i, m)$ ：要素 i における基準データの n 月平均値、 $\sigma_0(i)$ ：基準データの標準偏差。

3. データベースを用いた解析例

80km区画の一次メッシュ単位でデータベース化したことで、様々な解析を行うことが可能である。ここでは解析例を提示し、データベースの有効性を明らかにする。

3.1 任意の一次メッシュにおける気候変化

国内の12の都市について、それぞれ該当する一次メッシュにおけるデータを用いて、将来の気候変化を推定した。

(1) 解析方法

札幌、釧路、仙台、新潟、金沢、東京、名古屋、大阪、広島、福岡、高知および鹿児島島の12都市について、それぞれ該当する一次メッシュにおける降水量および気温を対象に解析を行った。データベースに格納されている、現在（1980-1999年）を基準とした将来（2080-2099年、A1Bシナリオ）における月別の気候変化情報を利用した。

(2) 解析結果

全国の12都市における降水量および気温の将来変化をFig. 2に示す。CMIP3については対象とした24のGCMのアンサンブル平均と、個々のGCMのうち最大および最小の将来変化を、MRI-AGCMについては3.1S/3.2Sの2つのGCMを平均した将来変化を示している。GCMによる結果の違いは、モデルによる予測の不確実性と捉えることができる。

Fig. 2によると、CMIP3とMRI-AGCMのアンサンブル平均は同程度であり、12の都市が該当する一次メッシュにおいて概ね一致している。GCMにより予測にばらつきがあるものの、全国的に平均して年降水量は5%程度増加、年平均気温は3℃程度上昇すると予測されている。また、気温の上昇は北に行くほど大きい傾向にある。日本国内のスケールで議論するには、CMIP3の個々のGCMでは解像度が粗く不十分である面も否めないが、マルチモデルアンサンブルは非常に有効であることが示唆されている。

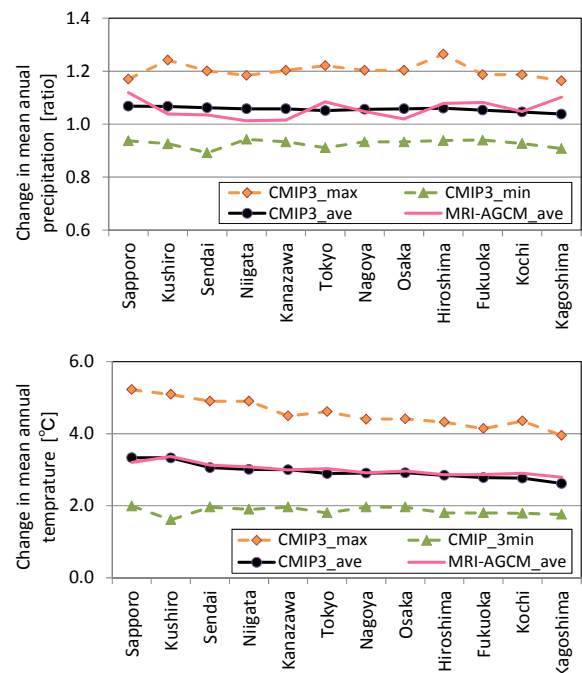


Fig. 2 Future change under SRES A1B in mean annual precipitation and temperature at principal cities in Japan. “_ave” denotes ensemble average of GCMs.

Table 3 Screening of GCM based on reproducibility.

Element	Screening method	Note
precipitation	correlation coefficient > 0.6	correlation coefficient is 0.58 at 0.05 significance level for t-test with 12 samples
temperature	RMSE < 0.3	standard error of 12 samples = 0.29 σ

Table 4 Annual precipitation and temperature bias of select GCM from CMIP3 against AMeDAS observation data.

City	Precipitation bias [ratio]				Temperature bias [°C]			
	max	min	ave	# of GCM	max	min	ave	# of GCM
Sapporo	1.32	0.65	1.01	5	2.2	-0.6	0.5	8
Kushiro	1.45	0.76	1.05	7	1.3	-1.1	0.1	2
Sendai	1.16	0.69	0.96	7	2.3	-1.9	0.5	10
Niigata	0.96	0.63	0.83	6	1.9	-0.2	1.0	8
Kanazawa	0.85	0.75	0.81	3	1.3	-2.3	-0.5	12
Tokyo	1.33	0.81	1.16	13	1.3	-1.5	-0.2	12
Nagoya	1.28	0.79	1.09	14	1.2	-2.0	0.0	14
Osaka	1.41	0.86	1.17	14	1.2	-1.5	0.1	12
Hiroshima	1.17	0.71	0.95	18	1.4	-1.6	0.2	10
Fukuoka	1.07	0.66	0.82	15	1.1	-1.5	0.3	8
Kochi	0.93	0.58	0.72	16	0.9	-1.2	-0.1	10
Kagoshima	0.91	0.52	0.68	13	1.5	-1.9	0.2	8

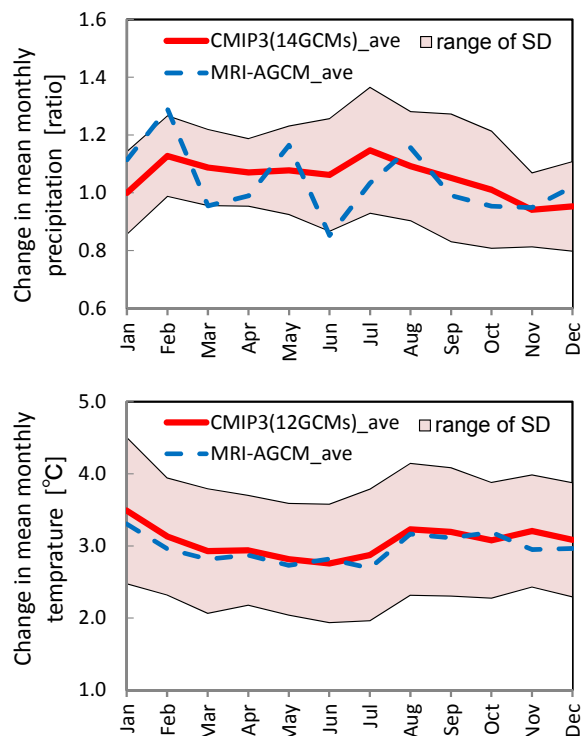


Fig. 3 Future change under SRES A1B in mean monthly precipitation and temperature at Osaka. “_ave” denotes ensemble average of GCMs. The width of color filled denotes standard deviation of select GCM from CMIP3.

一方、現在気候の再現性に着目すると、GCMによって現在気候の再現性は大きく異なっている。現在気候の再現性が将来気候の予測精度に直結する保証はないが、あまりにも再現性が低いGCMを除外することは必要であると考え。そこで、アメダス観測値を基準とした再現性の指標を用いてGCMの選別を行った。すなわちTable 3に示すように、降水量は「相関係数>0.6」、気温は「RMSE<0.3」の条件に当てはまるGCMのみを対象とした。Table 4は、各都市に該当する一次メッシュごとに選別されたGCMの数と、年降水量および年平均気温のアメダスデータに対するバイアスである。降水量の場合は新潟以北、気温の場合は新潟以北および広島以西において再現性が悪く、選別されるGCMが相対的に少ない傾向にあった。Table 4に示すように、再現性よいGCMだけを選んでもバイアスは避けられず、特に年降水量については最大で±50%程度のバイアスが存在することに注意が必要である。

Fig. 3は大阪に該当する一次メッシュにおいて、月別の将来変化を示したものである。色つきの範囲はCMIP3の中で対象とした個々のGCMによる将来変化の標準偏差の大きさを表している。MRI-AGCMの予測結果は、細かい変動をならすと降水量、気温ともにCMIP3のアンサンブル平均と概ね一致している。MRI-AGCMによる将来予測は可能性の一つに過ぎないため、両者の一致に必然性はないものの、月別にみてもマルチモデルアンサンブルが予測精度向上に貢献することは明らかである。さらにCMIP3の場合は複数のGCMの結果を利用できるため、Fig. 3のように予測の不確実性を定量化できるという利点がある。

3.2 流域を対象とした現在気候再現性

地球温暖化による影響は、気温上昇による積雪量の減少や融雪時期の早期化、蒸発散量の増大など、水循環に大きな影響を与えることが懸念されるため、流域単位の解析は重要である。そこで日本国内の主要流域において、データベース化した情報を用いてGCMによる現在気候再現性の評価を行った。

(1) 解析方法

解析対象とした流域は、石狩川、最上川、利根川、木曽川、淀川、吉野川および筑後川の7流域であり、Fig. 4に示すように複数の一次メッシュの集まりとして定義した。各流域において該当する一次メッシュの月平均降水量を平均して流域平均値とし、GCMによる現在気候の再現性を検証する。基準データとしてはアメダス観測値を用いることとし、期間はTable 1に示したように1980-1999年の20年間である。再現性の評価は、月別の流域平均降水量から求めた

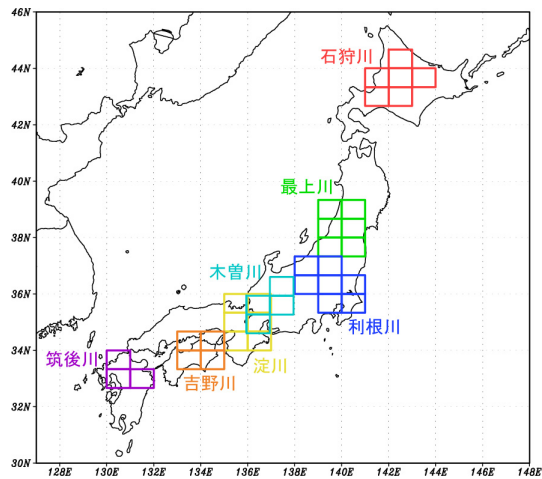


Fig. 4 Location of typical river drainage basin in Japan.

相関係数を用いて行う。これは、一次メッシュごとにデータベースに格納している指標（Table 2参照）と同じものであり、ここでは一次メッシュ単位の値の代わりに流域平均値を用いる。また、複数のGCMをアンサンブルする場合は、まず流域平均降水量のアンサンブル平均値を算出し、それとアメダス観測値により相関係数を求めている。

降水量は予測が難しい気象要素の一つであり、GCMによって予測結果にはばらつきが存在するため、流域平均降水量についても、Table 3で示した相関係数 >0.6 を条件に、再現性のよいGCMを選別した。一見、評価指標である相関係数によりGCMを選別しているため必ず再現性は向上するように考えられるが、選別したGCMにより改めて流域平均降水量を作成するため、必ずしも向上するとは限らない。

(2) 解析結果

流域別に、MRI-AGCMの2モデル、CMIP3の中で最も再現性の高いCSIRO-Mk3.5（単一のモデル）、CMIP3の全25モデル、相関係数 >0.6 を条件に選別したGCMからなる、4種類のデータ群のアンサンブル平均値について計算した相関係数を、Table 5に示す。4種類のGCMデータ群においてそれぞれ求めた流域平均降水量を、アメダス観測値で評価した値である。Table 5によると、全7流域の平均値でみた場合、高解像度なMRI-AGCMの再現性が最も良好であり、次いでCMIP3のうち相関係数 >0.6 の条件で選別したモデルによるアンサンブル平均となっている。選別したモデルのアンサンブル平均は、全25モデルの平均や、個別にみてCMIP3の中で最もよいGCMよりも再現性は高く、マルチモデルアンサンブルおよびモデルを選別することの有効性が、再現性の面において実証された。流域別では、MRI-AGCMも含めて最上川に関する再現性は悪く、地域によって再現性に顕著な

Table 5 Correlation coefficient of monthly mean precipitation between AMeDAS and GCM. “ $R > 0.6$ ” denotes ensemble average of GCMs with “correlation coefficient > 0.6 ”.

River basin	MRI-AGCM 3.1S+3.2S	CMIP3			
		best GCM MIROC3.2 (hires)	Ave. of 25 GCM	R > 0.6	No. of GCM
ishikari	0.915	0.752	0.788	0.885	8
mogami	0.770	0.637	0.509	0.727	2
tone	0.958	0.644	0.872	0.916	12
kiso	0.926	0.796	0.892	0.937	15
yodo	0.922	0.823	0.887	0.943	15
yoshino	0.961	0.864	0.887	0.937	16
chikugo	0.976	0.877	0.868	0.935	16
average	0.918	0.770	0.815	0.897	12.0

差が生じている。

3.3 観測値をベースとした温暖化影響評価

GCM出力値を用いた温暖化影響評価においては、解像度の粗いデータをそのまま用いるのではなく、力学的あるいは統計学的なダウンスケーリングが行われることが多い。しかしながら、ダウンスケーリングは手法により結果が異なることや、基となるGCMが変わるとそれに応じて計算機負荷が増大することなど、課題も多い。また、GCMのデータは膨大であり、誰もが簡単に扱えるものではない。そこで、Table 2で示した将来変化率あるいは変化量という情報を観測値に適用することで、簡易的に温暖化影響評価を行う手法を提案する。

(1) 将来気候の推定（気候変化上乘せ法）

本研究では一次メッシュ別にGCM出力値を整理したが、この情報を用いれば全国の任意の地域で複数のGCMによる気候変化を見積もることができる。我が国では、気象庁のアメダス観測点をはじめとした世界でも有数の観測網が存在しており、1時間間隔の時系列データが容易に入手できる。Fig. 5に示すように、これらの観測データにGCM出力値から推定した将来変化率もしくは変化量（気候変化値）を式(2)

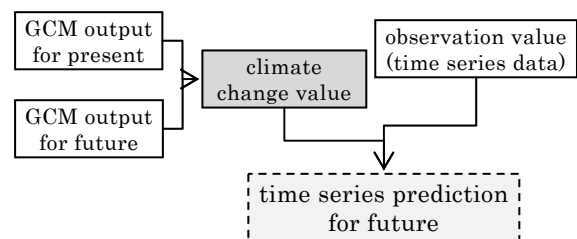


Fig. 5 Climate change modification method based on observation value.

および(3)により上乘せすることで、将来の推定値を時系列データとして得ることが可能となる。この手法は、従来から用いられているもの (Lehnerら, 2006) であり決して目新しいものではないが、一次メッシュ単位で整理することや、複数のGCMのアンサンブルを前提とすることなどから、改めて「気候変化上乘せ法」と呼ぶことにする。

$$P_f(t_f) = \alpha_n \cdot P_{obs}(t) \quad (2)$$

$$T_f(t_f) = T_{obs}(t) + \beta_n \quad (3)$$

ここで、 $P_{obs}(t)$, $T_{obs}(t)$: 観測で得られた降水量もしくは気温の時系列データ, $P_f(t_f)$, $T_f(t_f)$: 将来の降水量もしくは気温の時系列データ推定値, α_n : n 月の平均降水量変化率, β_n : n 月の平均気温変化 (°C)。 α_n および β_n はGCMによりそれぞれ異なる。

(2) 不確実性を含む解析

気候変化上乘せ法を用いれば、GCMによる予測の不確実性を含んだ解析が可能となる。例えば、水文分野でよく行われる河川流出解析においては、降水量や気温の時系列データが入力条件として必要である。GCM出力値をベースとする場合、ダウンスケーリングやバイアス補正などに非常に手間がかかる。バイアス補正が前提となる従来の手法では、極値(時間最大雨量など)が再現しにくくバイアス補正がいびつになる可能性のあることや、GCMにより時系列が異なるため、同時期(同イベント)の比較を行いにくいなどの問題点がある。観測値をベースとすることでこういった問題は解消される。

気候変化上乘せ法では、GCMの違いは気候変化値に集約されるため、入力条件の作成は非常に簡単であり、複数のGCMによる違いを意識しながら解析を進めることが容易である。例えばFig. 3によるとCMIP3のGCM群による2月の降水量増加率は1.1倍前後であるが、MRI-AGCMでは1.3倍の増加が予測されている。また、CMIP3のGCMによる予測のばらつき(標準偏差)は月ごとに異なっており、6月から10月にかけての予測結果について不確実性が大きいと捉えることができる。単一のGCMを使った解析ではこういった情報は得られないため、気候変化上乘せ法は多くの分野で有効な手法であると考えられる。個々のGCMをより詳細化(ダウンスケーリング)する手法と並行し、簡便性という大きな利点を生かして複数のGCM出力を利用する手法として気候変化上乘せ法を提案したい。

一方で、この手法はGCM本来の時系列情報を考慮していないため、例えば短時間雨量の強度や連続無

降雨日数の変化などを十分に検討することは不可能である。このような極端現象の変化については、力学的ダウンスケーリングなどのアプローチが別途必要であり、解像度の粗いGCMの出力値だけでは限界があることに注意が必要である。

4. データベースの実装とWEBサイトの開発

一次メッシュごとに用意した情報についてデータベース管理ソフトを運用し、WEBサイトを通じてユーザの要求に動的に対応して情報を提供する「気象変動情報データベース」を開発した。ここでは構築したシステム全体の概要について述べる。

4.1 データベースの実装

開発環境はTable 6に示すとおりであり、小規模なサーバで十分に運用が可能なものである。データベースには一次メッシュ毎にTable 2に示した情報を格納しており、全球の時系列データを20年間の月別平均値(気候値)に変換しているため、元々の情報量と比較すると大幅に縮小している。これにより、比較的軽い処理により、インターネットを通じてユーザの要求する任意の情報を動的に提供することが実現可能である。

4.2 WEB サイトの開発

データベースにまとめた情報については、広く一般に提供することを前提に、インターネット上で閲覧可能なWEBサイトを開発した。ユーザは任意の一次メッシュを指定して、様々なGCMの結果を表形式で表示させることや、視覚的に全体を把握できるように分布図を表示させる機能を実装した。

(1) データ表示

Fig. 6は特定の一次メッシュについて、複数のGCMによる情報を示した一覧表である。ユーザはFig. 6の左側のメニューから、表示項目、気象要素、一次メッシュの番号などを指定することで、任意の情報を表示させることが可能である。また、特定の月を選択することで、全ての一次メッシュにおける情報の

Table 6 Development environment.

Section	Function	Software
server system	Linux OS	Red Hat Enterprise
database	accumulation of data	PostgreSQL
WEB server	provision of information	Apache
drawing tool	distribution map drawing	JpGraph



Fig. 6 Data list of particular primary area partition in various GCMs.

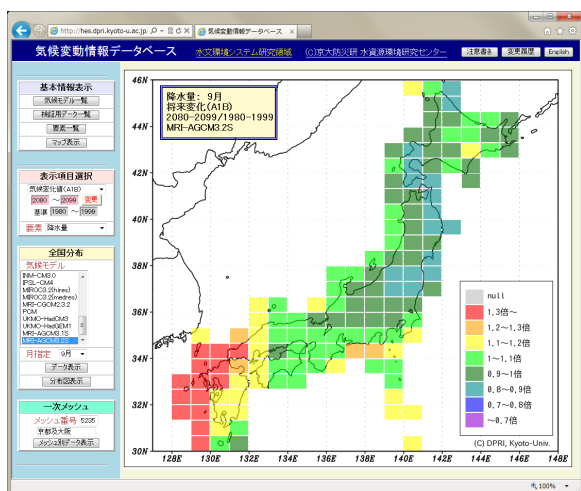


Fig. 7 Distribution map based on value in each primary area partition.

一覧表も表示可能となっている。

(2) 分布図表示

利便性を考慮し、WEBサイトには日本地図を背景とした分布図の表示機能を実装した。Fig. 7は、一次メッシュ単位の情報に基づいた分布図のサンプルである。Fig. 6と同様に、左側のメニューから項目を選択することで、必要な分布図を即座に表示させることが可能なシステムとなっている。

(3) WEBサイトを通じた情報提供の狙い

開発したデータベースでは、Table 1およびTable 2に示したように非常に多くのデータセットを一元的に管理しており、さらに気象要素ごとに情報が存在する。これらの情報を冊子などにまとめるのは困難

であり、また、データをファイル形式にして配布するのも利便性に欠ける。本研究で開発したWEBサイトは、ユーザが必要な地域の必要な情報だけを選択的に取得することが可能であり、分布図を参考にすれば地域的な特徴を確認することも容易である。

GCMを用いた実験結果は、IPCCの評価報告書などによって全球平均的な情報は比較的入手が容易であるが、国内についての解析は研究者によって個別に行われていることが多い。本研究で開発した「気候変動情報データベース」は、インターネットを通じて誰もが簡単に情報を得ることが可能であるため、一般市民は勿論、河川管理者や各分野の研究者においても、GCMによる気候変化の概略を把握することに有益であると考えられる。現在気候再現性についての指標も格納しているため、前述したように再現性の高いGCMのみを選択的に利用することも可能である。各国が開発したGCMの特性を損なわない汎用的なデータであり、解析対象に応じた使い方ができるため、実用度の高いデータベースとなっている。

5. おわりに

気候モデルの実験結果を利用するためには、気候モデルの特徴をよく理解し、膨大なデータをダウンロードした上で独自のデータフォーマットを理解する必要がある。気象の専門家以外からは利用しにくい。その障害を取り除くために、膨大なGCM出力値を必要最小限の情報に変換し、日本全国任意の地域の情報を取り出すことが可能な気候変動情報データベースを開発した。従来の研究手法であるバイアス補正やダウンスケーリングを用いず、GCM出力値を直接比較検証する新たな枠組みとして一次メッシュ単位で比較する手法を提案するものである。主要な結果は以下の通りである。

1) 気候変動情報データベースの開発

本研究では、一次メッシュ単位でCMIP3の25のGCM, MRI-AGCM3.1S/3.2Sの出力値を20年間の月別平均値として整理し、アメダス観測値あるいはJRA-25を基準とした現在気候の再現性や、将来の気候変化値についてデータベース化を行った。日本全国任意の地域について気候変動の影響を試算し、個々のGCMによる予測結果の違いについても容易に把握することが可能となった。データベースに登録されている情報量は少ないため、複数の気候モデルや複数のシナリオについて迅速に統計処理を行えることが利点である。

今後も様々なGCMが新たに開発され、その実験結果が利用可能となることが予想されるが、今回構築

した一次メッシュ単位での整理という枠組みを用いれば、過去のGCMとの比較・検証することで、最新のGCMによる予測結果を評価することが可能である。

2) マルチモデルアンサンブルの有効性

一次メッシュ単位に整理したGCM出力値を用いて、解像度の粗いCMIP3と全球20kmという高解像度大気モデルであるMRI-AGCMを比較した。CMIP3の単独のGCMでは高解像度なMRI-AGCMに比べて再現性は低いものの、複数のGCMを用いたアンサンブル平均は有効であり、CMIP3平均値はMRI-AGCMに類似した再現性および将来変化を示した。特に、国内の代表的な7つの流域における月別の流域平均降水量については、CMIP3について個々のGCMの再現性によって選別した上でアンサンブル平均を求めた場合、CMIP3の中で最も再現性の良好なGCMを上回っただけでなく、MRI-AGCMに迫る再現性を有することが明らかとなった。国内の流域スケールにおけるマルチモデルアンサンブルの有効性が具体的に実証され、CMIP3のような解像度の粗い気候モデルを用いても地域特性の議論が可能となることが示唆された。

本研究では、気象要素は降水量および気温、温室効果ガスの排出シナリオはA1Bについての解析例を示したが、他の気象要素やシナリオについても同様の解析が可能である。

3) 気候変化上乘せ法の提案

GCMによる現在気候および将来気候の出力値を用いて気候変化値（比率もしくは差）を算出し、これを観測値に加味することで将来の気象データを推定する「気候変化上乘せ法」を提案した。一般に気候モデルは水平解像度が粗いためダウンスケーリングなど出力値を改変する処理が不可欠であり、流域スケールにおいて異なるGCM同士の比較は困難である。気候変化上乘せ法では、観測データをベースとすることでこれらの問題点の解決を図るものである。観測値を用いるため、将来気候の予測値についてGCMの解像度に依らず詳細な時空間分布が得られること、過去の豪雨や渇水など観測値を通してそのまま表現できること、観測値が将来どのように変化するかという議論に単純化できること、などがメリットとして挙げられる。

4) WEBサイトの開発

気候モデルによる予測には不確実性が避けられず、いくら高解像度で再現性の高いGCMを用いたとしても、その結果はある一つのシミュレーションに過

ぎない。複数のGCM出力値を比較検証することは重要であり、温暖化影響評価において不可欠な視点であると考える。本研究で開発した「気候変動情報データベース」を利用することで、複数のGCM、複数のシナリオ、複数の気象要素について、任意の地域における将来の気候変化を確認することが容易に可能となった。以下のWEBサイトにより情報を公開しており、温暖化予測情報が様々な分野において、社会で実践的に活用されることを期待する。

<http://hes.dpri.kyoto-u.ac.jp/> （2011年6月現在）

謝 辞

本研究の一部は、環境省地球環境研究推進費（S-5-2）および文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラムの支援により実施された。記して謝意を表する。

参考文献

- 木本昌秀（2009）：今後の数値予報への期待. 2009年度春季大会 公開気象講演会「数値予報の過去・現在・未来—数値予報現業運用開始50周年記念—」の報告, 天気, Vol. 56, pp. 908-913.
- 道広有理・佐藤嘉展・鈴木靖（2010）：CMIP3マルチ気候モデルにおける日本の気候の再現性比較, 京都大学防災研究所年報, 第53号B, pp. 699-706.
- International Energy Agency (2010): CO2 Emissions from Fuel Combustion 2010 Edition, Paris.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 996 pp.
- Lehner, B., Doll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., Kaspar, F. (2006): Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis, Climatic Change, Vol. 75, pp. 273-299.
- Murphy, J.M., Sexton, D.M.H., Jenkins, G.J., Boorman, P.M., Booth, B.B.B., Brown, C.C., Clark, R.T., Collins, M., Harris, G.R., Kendon, E.J., Betts, R.A., Brown, S.J., Howard, T. P., Humphrey, K. A., McCarthy, M. P., McDonald, R. E., Stephens, A., Wallace, C., Warren, R., Wilby, R., Wood, R. A. (2009): UK Climate Projections Science Report: Climate change projections. Met Office Hadley Centre, Exeter.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K.

Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira
(2007) : The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan,
Vol. 85, pp. 369-432.

Development and Application of Climate Change Information Database

Yuri MICHIIHIRO, Yoshinobu SATO and Yasushi SUZUKI

Synopsis

Limited individuals can handle the outputs of Global Climate Model (GCM) because of massiveness and complexity of the data, while impact assessments by the climate change heavily depend on the experiment results of GCM. In this study, surface meteorological elements (precipitation, temperature, etc.) in GCM outputs are collected and compiled to construct the database by primary area partition of grid square method (approximately 80 km x 80 km). The database makes it possible to evaluate the climate change in arbitrary area in Japan simulated by multiple GCMs. The database has observation values and reanalysis data, in order to verify the reproducibility of present climate. Furthermore, the website is developed for the public to access the data of climate change.

Keywords: climate change, GCM, database, multi-model ensemble, website