

## 4. 地域スケールの気候予測情報とその活用

佐藤 友徳\*

### 1. はじめに

気象学は日々変化する気象やそれに関わる様々な科学の理解を基軸として今日まで発展を続けてきた。本稿では、気象や気候の情報や学会員の活動が、シンポジウムのタイトルである「地域づくり」にどのように関わることができるのかという点について考えることにしたい。主に、市町村や都道府県など地方自治体の空間スケールを対象とする。

### 2. 気象学と社会

気象学の価値として、「物理現象の解明」は当然求められるし、これを通じて気象予報の改善にもつながることができるであろう。一方、社会と気象の深い関わりを考えると、気象と社会のつながりを「研究として」扱うことも十分可能なはずである。このような背景のもとで、英国の王立気象学会は1994年に学術誌 *Meteorological Applications* を創刊した。応用気象、気象予報の論文が多いものの、気象サービスについての研究論文を受け付けている。アメリカ気象学会では2009年に *Weather, Climate, and Society* が創刊されている。タイトルからもわかるように気候や気象と社会の関わりを強く意識し、気象情報の利用者側の立場に立った研究が多く報告されている。我が国では、歴史の長い *Journal of the Meteorological Society of Japan* や *SOLA* の国際誌を発刊しており、気象学に関連した諸分野の投稿も受け付けているが、気象と社会との関わりについて述べた論文は決して多いとはいえない。

日本気象学会と気象庁は、気象研究の発展、大学等

における気象研究分野の人材育成、気象庁の予測精度の向上を目的として、2007年に気象研究コンソーシアムを設立した。この枠組みによって、気象庁による現業の予報データや観測データを短期予報から1か月予報まで、あるいはメソ予報から全球予報まで利用することが可能になった。大学という立場からみると、この枠組みは気象予報に関わる人材育成や気象データを応用した新たなブレイクスルーの発掘も期待でき、非常に魅力的な枠組みである。

### 3. 地域と気象、気候

気象は、古くから地域の暮らしに密接に関わってきた。たとえば、祭事や農作業の時期、代々伝わる生活の知恵には、地域ならではの特色があり、気象情報が経験的に利用されてきたことがうかがえる。また地域を代表する伝統的な産業には、地の利が活かされていることが多く、そこにも気象条件が関わっていることが多い。

2000年代になると地球温暖化に伴う地域の気候変動の予測という位置づけで地域気候の研究が再び活発化してきた。地球温暖化は地球規模の問題であり、科学だけでなく政治的な問題も内包しているが、それによる影響は地域ごとあるいは季節ごとに特色が大きく異なる。したがって、それぞれの地域ごとに、将来の気候予測情報が必要になる。また温暖化の予測に限らず、「気象の研究は地域の数だけある」と言えるし、地域間の共通点や相違点を見つけることは、気象学的に面白い。

一般に全球の気候予測に用いる気候モデルは空間解像度が粗いため、本稿で対象とするような地域特有の気候を表現できていないことがある。このような場合に、力学的ダウンスケーリングという方法がしばしば採用される(稲津・佐藤 2010)。これは空間解像度の

\* 北海道大学大学院地球環境科学研究院。

t\_sato@ees.hokudai.ac.jp

© 2014 日本気象学会

高い気象モデルを用いて、特定の地域のみを細かなメッシュで再計算する方法である。ここで用いる領域気象モデルは近年急速に進歩してきており、これも地域気候予測の研究が活発になってきた一因であろう。

ダウンスケーリングによって得られた地球温暖化に伴う地域気候予測のデータは農業、生態系、水資源、防災等の分野でさらに解析され、日本各地の影響評価研究にも利用された（温暖化影響総合予測プロジェクトチーム 2008）。これらの研究成果は、自治体の地球温暖化政策へ反映されることが期待されており、適応策立案に資する情報としても発信されている（気候変動適応の方向性に関する検討会 2010）。このように地域の気象や気候の情報は、気象予報を通じて防災情報に活用されるほか、中長期の地域計画策定の際の基礎資料としての価値を持っていると言える。さらに、地球温暖化の研究を目的とした手法開発やモデルの改良は、日々の気象予報にも転用できる可能性を持ったものがあり、応用気象の分野でも研究ツールがシームレスになることで、副次的な効果を持つことも期待される。またその逆に、日々の予報のための手法が気候予測研究に応用されることもある。

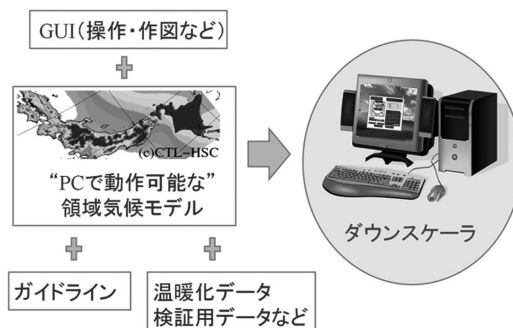
#### 4. 地域気候予測のニーズへの対応

前節で力学的ダウンスケーリングによって空間解像度の高い気候データを得ることができると述べた。しかし、地域によっては局地的な要因に起因する地域特有の現象の再現が十分でないことがある（例えば、さらに細かな地形や土地利用の影響など）。また、地域や分野によって関心のある気象要素が異なることがあるため、利用者が望むデータが常に存在するとは限らない。前述のように、(1)地球温暖化に伴う気候変化の傾向は地域ごとに異なる、(2)昔からそれぞれの地域で特有の気候に適応してきた、の2点を考えれば将来の気候に対する関心事も地域によって異なることは必然であろう。筆者らが北海道の自治体、行政関係者やコンサルタントらに行ったアンケート調査によると、北海道の地域気候予測に対して地域ならではの要望があることが分かった。例えば、地球温暖化による影響は、本州では夏の暑熱環境に関心が高いのに対して、北海道では冬の最低気温の変化に対する関心が高い。気温と同様に降水量もニーズの多い要素であるが、北海道では降水だけでなく降雪量や積雪深など雪に関係する要素に高い関心がある。積雪地域において、雪対策が行政の重要課題であることを反映してい

る。具体的には除雪費用の試算や水資源としての利用可能性を評価する必要があるためである。防災の観点からも、強い降雪に伴う気象災害や急激な気温上昇がもたらす融雪期の増水も寒冷地特有の課題である。

このように、気候予測情報に対する社会や行政のニーズは地域や専門とする分野によって多様であり、各々が好みの条件で気象データを加工したいわけである。このようなニーズに可能な限り対応することが望ましいのは当然であるが、気象の専門家が全てのニーズに対応することは非現実的である。このような状況を克服するために現在取り組んでいる研究を紹介する。

筑波大学、海洋研究開発機構と北海道大学の共同研究で、気候予測のための力学的ダウンスケーリングができるソフトウェア（通称、ダウンスケーラ）を開発中である。ダウンスケーラは、領域気象モデルを含んだグラフィカルユーザーインターフェース（GUI）のアプリケーションである（第1図）。このダウンスケーラを使用することで、気象学の専門家でなくとも自前のコンピュータを用いて簡略化された条件のもとでダウンスケーリング実験を行い、興味のある地域の地球温暖化予測を行うことができる。計算の対象期間（対象月）や対象領域は、ユーザーが自由に設定でき、計算結果を既存の観測データと比較する機能や、データとして出力する機能を装備する予定である。また、将来の土地利用を設定できる機能を用意しており、都市計画策定の際の科学的根拠として本システムが利用されることを期待している。ダウンスケーラシステムによって、気象以外の分野の研究者・技術者や自治体関係者らのユーザーが、各々の関心のある領域の簡易的な温暖化予測を行うことが可能となる。ただし、ここで注意しなくてはならないのは、計算結果の解釈の部



第1図 ダウンスケーラシステムの概略図。

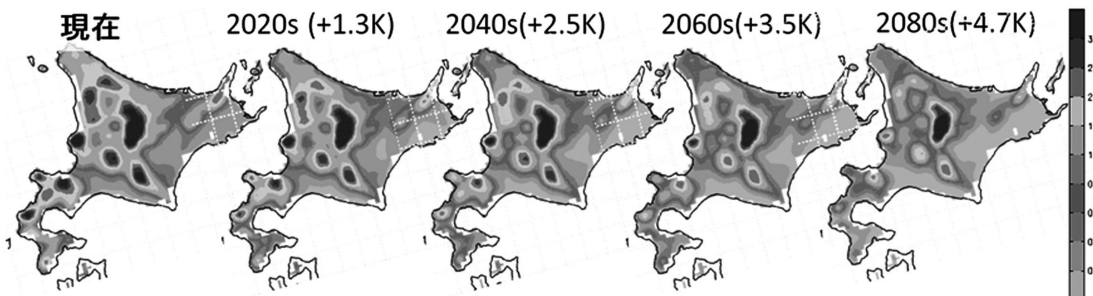
分である。簡易的な手法を用いるために幾つかの重要な制約条件があることに注意する必要がある。また、気象モデルの結果が持つ様々な不確実性については専門家の判断が必要であるため、当面の間は気象学の立場から専門的なサポートが必要である。

ダウンスケーラが実用化されると、地域のニーズに特化した地域特有の現象の影響予測を行うことができる。ここでは、将来の積雪予測へ応用した例を紹介する。第2図は現在開発中のダウンスケーラと同等の環境で実施した温暖化時の北海道の積雪深の変化を示している。計算は10 km メッシュの領域気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting; Skamarock *et al.* 2008) を用いて、MIROC3.2 (medres) (K-1 Model Developers 2004) の A1b シナリオ実験を擬似温暖化手法 (佐藤 2010) によってダウンスケーリングした結果である。従来の利用可能な地域気候予測データセットは、将来の特定の年代に限られていることが殆どであり、適応策を計画するためには極めて限定的な情報しか得られない。ダウンスケーラでは、予測する年代を自由に選択することができるため、広域の気温上昇に対応して積雪深が変化していく様子を連続的に解析することができる。標高1000 m より高い地域では降雪量は増加し、低い地域では降雪量が減少する傾向がみられた。降雪量の減少傾向は空間・時間に一様ではなく、標高の低いところほど早く減少し、標高500 m~1000 m 程度の地域では今世紀後半から減少傾向が顕著になることが示された。このように積雪変化の傾向を把握することで、影響が深刻化する年代の特定や、適応策でターゲットとすべき年代を検討する際の情報を得ることが可能になる。関連する気温等の解析結果の一部は Matsumura and Sato (2011) でも述べられている。

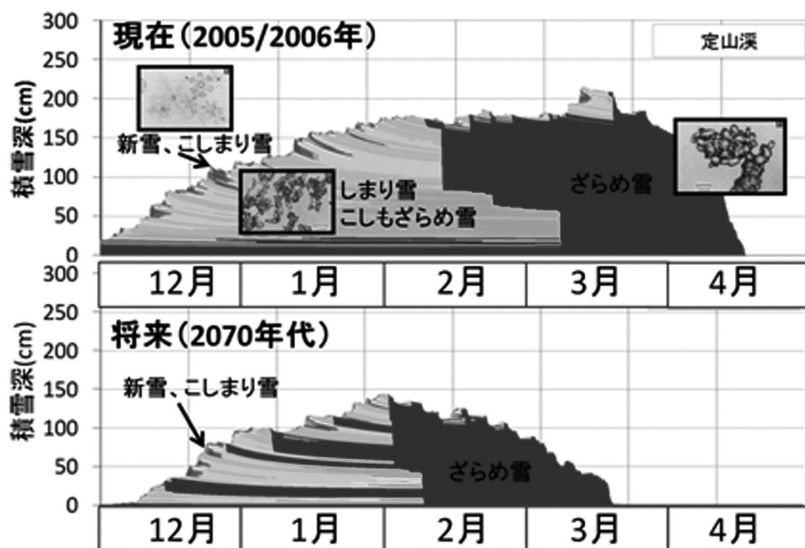
次に、温暖化による積雪変化を別の視点から調べた研究 (中村ほか 2011) を紹介する。第3図は、2005年12月~2006年4月の札幌近郊 (定山溪) における積雪断面構造の時間変化を表している。5 km メッシュの WRF を用いたダウンスケーリングによって、1時間おきの気温、風速、相対湿度、降水量を求めた。これらの気象データを積雪変質モデル SNOWPACK (Bartelt and Lehning 2002; Lehning *et al.* 2002a, b) に入力し、積雪の密度の時間変化を計算している。第3図上段に示された積雪構造の時間変化は、実際に観測された積雪断面の特徴をよく再現している。第3図下段は温暖化を想定した実験結果である。詳細な説明は省略するが、この計算では2005/06年の冬季とほぼ同様な日々の気圧配置のもとで力学的ダウンスケーリングを行うものの、全球気候モデルによって予測された2070年代に相当する広域の平均的な気温上昇や水蒸気量の変化を考慮している。地球温暖化に起因する北海道周辺の気温上昇の結果、厳冬期においても積雪中に高密度のざらめ雪層が形成されており、平均的な積雪密度が増加している。また、2月前半にほぼ全層がざらめ雪に変質することや、融雪の早期化が明確に現れている。温暖化が進行すると、積雪深や積雪期間の変化だけではなく雪質の変化 (雪密度の増加) が現れることが分かる。このような手法をさらに精緻化することで、雪崩リスクの評価や積雪荷重による建築物への影響など、積雪地ならではの課題に対応することができると思われる。

## 5. 最後は人へ

「地域づくり」や「地域の自然科学の研究」において、どのように気象学の知見を活かすことができるのか、またその考え方について幾つかの視点から述べ



第2図 北海道の最深積雪深の変化 (m)。括弧内の数値は850 hPa 面における北海道周辺の冬季平均気温の変化量。



第3図 札幌近郊(定山溪)における積雪断面の時間変化。上図は2005/06年冬季, 下図は2070年ころを想定した実験結果(中村ほか(2011)を改変)。

た。気象データや気象の知識を活用し地域づくりに生かしていくためには様々なアプローチが可能である。しかし、大量のデータを処理し、得られた結果に対して適確な考察ができるのは気象学を専門とする人間であると考えている。前に述べたように、気象は地域の成り立ちと密接な関わりがあり、地域づくりにおいて欠かすことのできない情報である。しかし専門家であれば誰でも良いという訳でもない。地域の気象に最も精通しているのは、その地域に在住の気象関係者であると思う。各地域の気象研究者や気象予報士が地域の気象に対して積極的に関心を持ち、コミュニケーターとして機能することで、地域を研究する他分野の研究者や地域社会へ情報発信が促進され、地域気象情報の利用や普及はさらに拡大するであろう。

また、住民が地域特有の気象に関心を持つことで、地域への愛着を深める効果も期待できる。小学校の授業で地域の特色を学習する際に、地域の気象が題材となることがある。特色のある気候は地域の誇りでもある。地域特有の気象を学ぶことは、気象災害に対する防災力の向上にもつながる。このように、気象学を通じた地域の人材育成や教育・啓蒙活動は、地域の研究教育機関や気象台、気象予報士会など気象学会に関わる多くの方々がこれまでも注力されていると思うが、地域社会のニーズも取り入れつつ、より一層充実されることを期待し、筆を置くことにする。

## 謝辞

本報告で紹介したダウンスケアラの開発は、環境省の環境研究総合推進費S-8-1(2)の支援により実施されています。気候予測情報のニーズ調査には上記支援のほか、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラムの成果を利用させて頂きました。

## 参考文献

Bartelt, P. and M. Lehning, 2002: A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part I: numerical model. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 35, 123-145.

稲津 将, 佐藤友徳, 2010: 大は小を兼ねるのか: ダウンスケアリング. *天気*, 57, 195-199.

気候変動適応の方向性に関する検討会, 2010: 気候変動適応の方向性. [http://www.env.go.jp/press/file\\_view.php?serial=16525&hou\\_id=13167](http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=16525&hou_id=13167) (2013.1.9閲覧).

K-1 Model Developers, 2004: K-1 coupled GCM (MIROC) description. K-1 technical report 1, 34pp.

Lehning, M., P. Bartelt, B. Brown, C. Fierz and P. Satyawali, 2002a: A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part II: snow microstructure. *Cold Reg. Sci. Technol.* 35, 147-167.

Lehning, M., P. Bartelt, B. Brown and C. Fierz, 2002b: A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold Reg., Sci. Technol.*, 35, 169-184.

Matsumura, S. and T. Sato, 2011: Snow/ice and cloud responses to future climate change around Hokkaido. *SOLA*, 7, 205-208.

中村一樹, 佐藤友徳, 山中康裕, 西村浩一, 2011: 気候変動に伴う北海道の雪質変化推定手法の開発. *寒地技術シンポジウム論文集*, 27, 80-85.

温暖化影響総合予測プロジェクトチーム, 2008: 地球温暖化「日本への影響」. [http://www.nies.go.jp/s4\\_impact/pdf/20080529report.pdf](http://www.nies.go.jp/s4_impact/pdf/20080529report.pdf) (2013.1.9閲覧).

佐藤友徳, 2010: 擬似温暖化実験. *天気*, 57, 111-112.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D.

M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang and J. G. Powers, 2008: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-475+STR.

---