

将来の温暖化対応を軸としたまちづくり・都市づくりの提案と課題

Proposals and Tasks for Town and Urban Planning Based on Countermeasures to Future Global Warming

名古屋大学大学院環境学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

飯塚 悟

Satoru IIZUKA

キーワード：温暖化（Global Warming）、まちづくり・都市づくり（Town and Urban Planning）、人口減少社会・超高齢社会（Population Declining and Super Aging Societies）、ダウンスケーリングシミュレーション（Downscaling Simulation）、将来予測（Future Projection）

1. はじめに

IPCC 第 4 次評価報告書¹⁾および同第 5 次評価報告書²⁾によれば、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」。世界の平均気温は、過去（最近）100 年間で 0.73℃上昇³⁾しているが、今世紀末には 1986～2005 年平均に比べて最大 4.8℃上昇すると予測²⁾されている。東京や大阪、名古屋における過去 100 年間の気温上昇量がそれぞれ 3.2℃、2.7℃、2.9℃⁴⁾であることと比較しても、これからの将来における世界平均気温の上昇、すなわち地球温暖化の深刻さが理解される。

都市の気温上昇は、地球温暖化と都市温暖化（ヒートアイランド）の 2 つの温暖化によりもたらされる。上述の気温上昇量^{3), 4)}に基づけば、日本の 3 大都市圏（東京・大阪・名古屋）の過去 100 年間の気温上昇に対するヒートアイランドの影響は、地球温暖化の影響の 3 倍程度（2.7～3.4 倍）と概算される。日本の中小都市の場合、過去 100 年間の気温上昇量は 1.5℃（都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点平均）⁴⁾であり、その気温上昇に対するヒートアイランドの影響と地球温暖化の影響は同程度となっている。しかし、これからの将来、人口減少で縮退傾向にある日本の多くの都市においては、その都市の気温上昇に対してヒートアイランドの影響よりも地球温暖化の影響の方が（遙かに）大きくなるであろう。その一方、地球温暖化の緩和に対して、日本で直接的にできることはほとんどないと言わざるを得ない。地球温暖化の主原因となる二酸化炭素の日本の排出量は、世界全体の僅か 3.5%（2015 年時点）⁵⁾であり、仮に日本の排出量を 0 にできたとしても、中国やアメリカなどの主要排出国の排出量が大幅に減らない限り、地球温暖化の緩和への道は開けない。そのような状況下で、日本の諸都市の気温緩和に直接的に寄与できるのは、ヒートアイランド緩和策のみである。これからの将来、日本の多くの都市においては、不可避とされる地球温暖化に伴う気温上昇分あるいはその一部を、ヒートアイランド緩和による気温低下で相殺することを目指していくしかない、と筆者は考えている。

まちづくりや都市づくりを行うには、社会基盤整備や減災・防災対応、自然・歴史保全など、様々な計画要素を包括的に検討する必要がある。温暖化対応はその計画要素の 1 つであるが、ますますの温暖化が不可避と考えられているこれからの将来、最も重要な要素の 1 つとなるであろう。既に超高齢社会に突入している日本の場合、暑熱適応能力に優れない高齢者の人口は今後しばらくの間増加の一方⁶⁾であり、温暖化に伴う夏季の暑熱化は、熱中症などの健康被害患者を著しく増加させる可能性を有する。将来のまちづくり・都市づくりにおける温暖化対応は、熱的快適性を議論する段階を超えて、健康維持さらには生命維持のために不可欠となる。

本稿では、将来の温暖化対応を軸としたまちづくり・都市づくりの検討事例として、温暖化ダウンスケーリングシミュレーション（2 章参照）を活用して検討を行った事例を 2 つ紹介する。

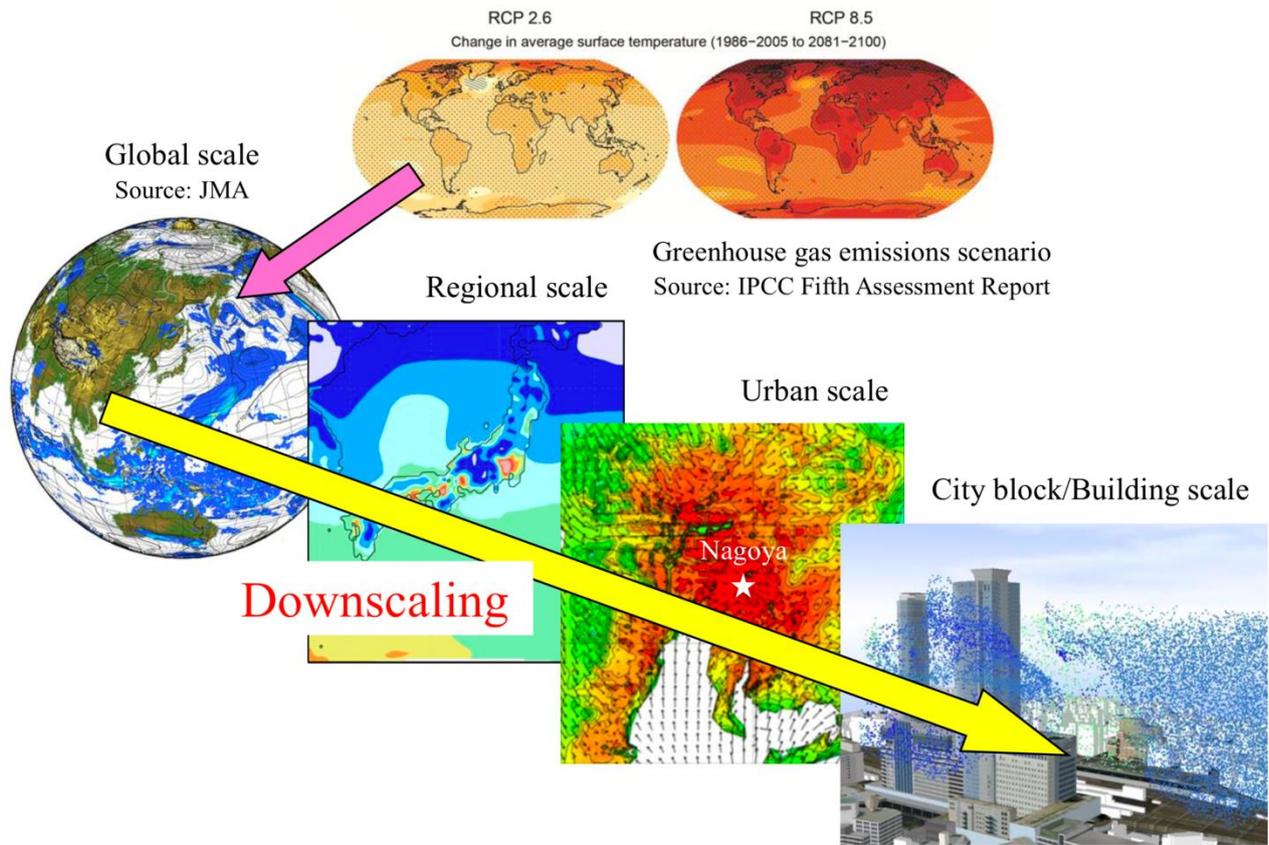


図 1 筆者らが開発した空間詳細な温暖化ダウンスケーリングモデルの概要¹²⁾

2. 温暖化ダウンスケーリングシミュレーションの概要

地球温暖化の現在および将来の状況を解析・予測するには、地球全体をカバーするシミュレーションモデル（全球気候モデル）の開発が必要であり、世界各国の様々な研究機関でその開発が進められてきている。日本では、文部科学省が実施した「人・自然・地球共生プロジェクト：温暖化予測「日本モデル」ミッション」（2002～2006年度）⁷⁾、「21世紀気候変動予測革新プログラム」（2007～2011年度）⁸⁾、「気候変動リスク情報創生プログラム」（2012～2016年度）⁹⁾などを通じて、先進的なモデル開発研究が進められてきた。全球気候モデルは、地球温暖化の実態解明や将来予測において多大な貢献を果たしているが、その空間解像度は通常 100～数 100km 程度（全球気候モデルの出力は 100～数 100km 四方範囲の空間平均値）であり、全球気候モデルの出力結果をまちづくり・都市づくりレベルの検討にそのまま用いることはできない。そのような空間解像度のギャップを埋めるために開発されてきた技術が「温暖化ダウンスケーリング」と呼ばれるものである。ダウンスケーリングは空間詳細化を意味し、全球気候モデルの出力結果をより高解像度のシミュレーションモデルを用いて空間詳細化を施す力学的ダウンスケーリングと、広域の気象場と局所の気象要素の経験的・統計的關係を仮定し、その仮定に基づいて空間詳細化を施す統計的ダウンスケーリングの 2 つの手法に大別される¹⁰⁾。

筆者（建築・都市環境工学が専門）自身、気候・気象学、土木工学、計算科学などを専門とする研究者らとともに、文部科学省が実施した「気候変動適応研究推進プログラム」（2010～2014 年度）を通じて、力学的ダウンスケーリングに基づく温暖化ダウンスケーリングモデルの開発に取り組んできた¹¹⁾。これは、世界でも類を見ない空間詳細な温暖化ダウンスケーリングモデルの開発であり、地球スケールから大陸・国スケール、地域スケール、都市スケール、街区・建物スケールに至る気候・気象・微気象を段階的かつ連続的に解析・予測可能なシミュレーションモデル（図 1）¹²⁾となっている。次章以降に示すシミュレーションは筆者らが開発した温暖化ダウンスケーリングモデルを用いて実施したものである。

3. 減災・防災対応と温暖化対応を軸としたまちづくり・都市づくりの検討¹³⁾

切迫性が指摘される南海トラフ巨大地震が発生した場合、強震や津波、液状化の甚大な被害が広範囲にわたって生じると予測されている^{14), 15)}。筆者の生活地である名古屋都市圏もその1つに含まれ、同都市圏のこれからのまちづくり・都市づくりにおいて、南海トラフ巨大地震に対する減災・防災対応は最も重要な計画要素の1つとなっている。ただし、繰り返して言うまでもなく、まちづくり・都市づくりにおいては、様々な計画要素を包括的に検討する必要がある(1章参照)。ここではその一環として、減災・防災対応と温暖化対応を軸としたまちづくり・都市づくりについて、温暖化ダウンスケーリングシミュレーション(2章参照)を活用して検討した事例を紹介する。

まず、減災・防災の観点から、名古屋都市圏を対象として3つの都市形態モデル(図2(2)~(4))の作成を試みた。図2(1)は現状の土地利用分布である。図2(2)~(4)の減災・防災型都市形態モデルは、将来2050年代を対象として作成し、対象年代の名古屋都市圏の人口減少割合(現状から20%減と想定)と都市域の縮小割合を同じと仮定している(ただし、空き家問題が数多く存在するように、人口減少割合と都市域の縮小割合は必ずしも一致するものではないことに注意)。都市域の縮小分は、図2(2)では津波被害、図2(3)では強震被害、図2(4)では液状化被害が顕著に生じると予測されている領域にそれぞれ対応させ、その領域の土地利用を草原に置き換えることで、各種減災・防災型都市形態モデルを作成している。以上の都市形態モデル作成の詳細については、文献13を参照されたい。

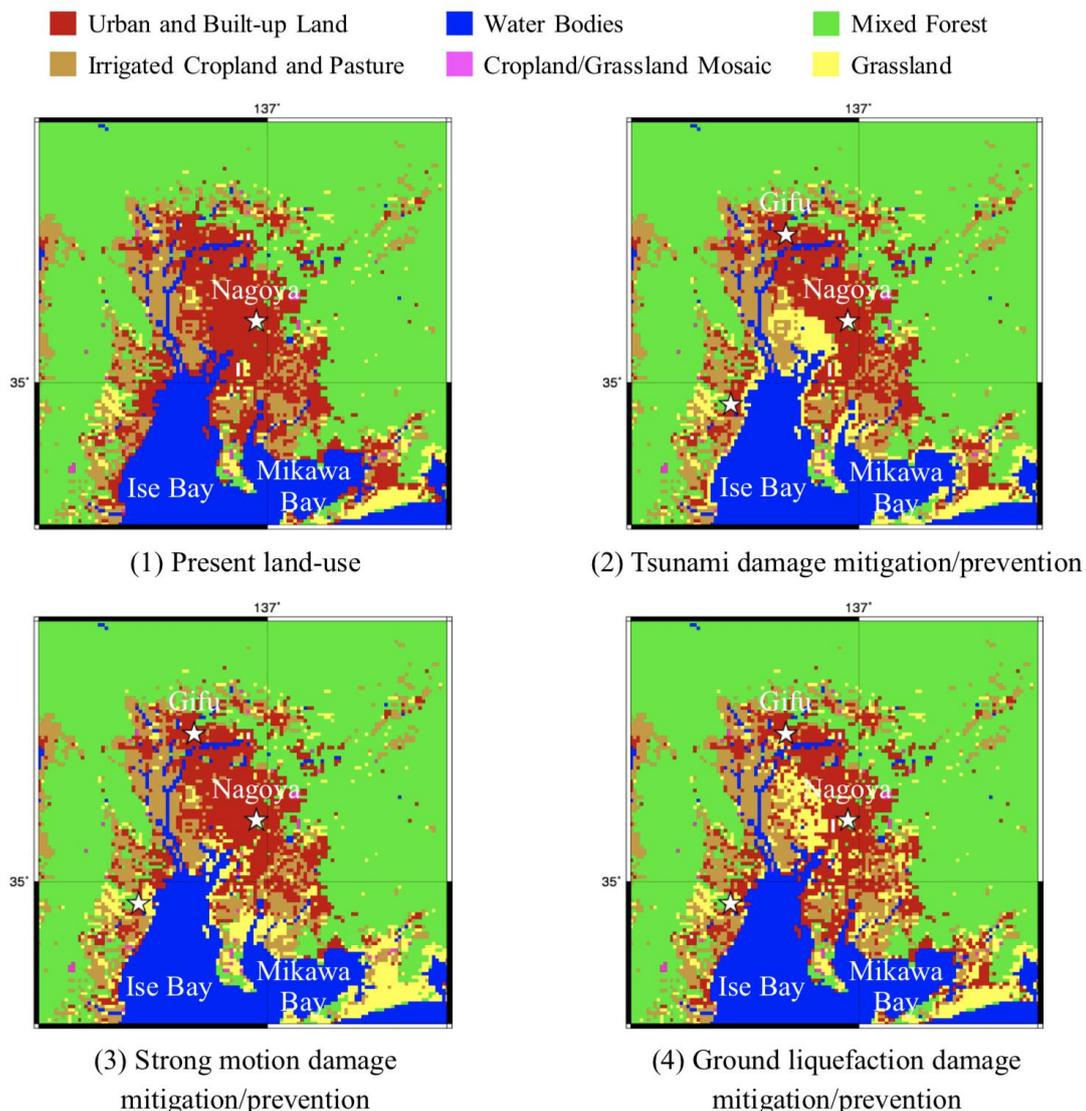


図2 各種都市形態モデルの土地利用分布¹³⁾

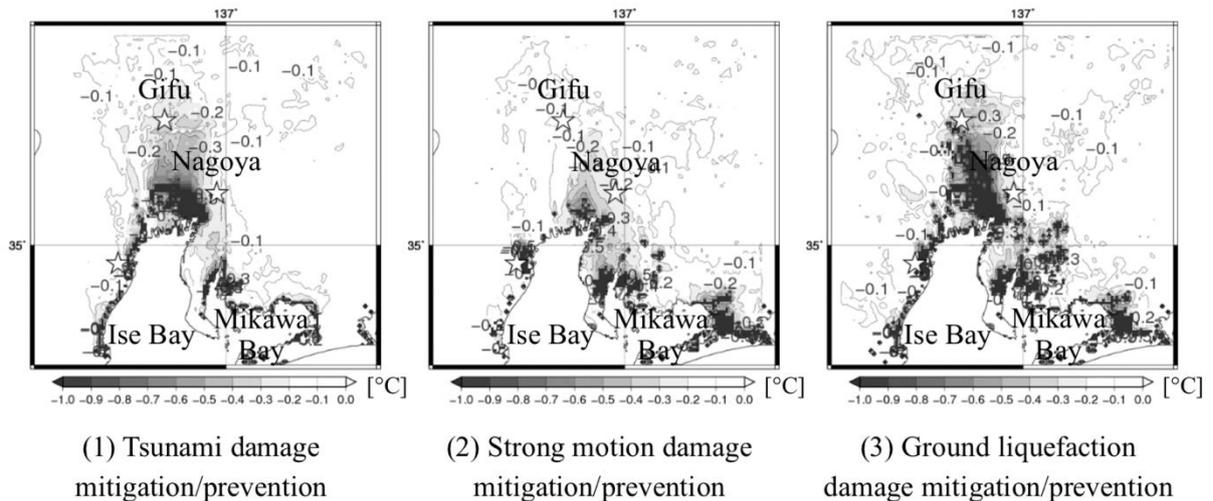


図3 減災・防災型都市形態モデル各ケースと現状土地利用ケースの気温差の水平分布
(地上2m・18時(2050年代8月1ヶ月平均))¹³⁾

全球気候モデル(本事例ではMIROC 3.2-medres¹⁶⁾)に導入する温室効果ガス排出シナリオはIPCC SRES A2シナリオ(経済志向・地域主義志向)¹⁷⁾とし、作成した減災・防災型都市形態モデル(および現状土地利用モデル)(図2)を都市気候モデル(本事例ではWRF¹⁸⁾)に導入し、2050年代8月1ヶ月間を対象として実施した温暖化ダウンスケーリングシミュレーションの結果の一例を図3に示す。同図は、名古屋都市圏に海風が顕著に進入する時間帯(18時)における減災・防災型都市形態モデル各ケースと現状土地利用ケースの気温差(地上2m・2050年代8月1ヶ月平均)の水平分布を示したものである。それぞれの都市形態モデルで場所は異なるが、顕著な津波被害 or 強震被害 or 液状化被害が生じる沿岸の都市域が将来の都市域の縮小分として草原に置き換えられることにより(図2参照)、伊勢湾や三河湾からの海風がより進入しやすくなり、それに応じた気温緩和領域が形成されている。名古屋都市圏内では、岐阜などの内陸都市が夏季において特に高温となるが、津波被害軽減型モデル(図2(1))と液状化被害軽減型モデル(図2(3))では伊勢湾からの海風がより内陸まで進入し、岐阜およびその周辺の気温緩和に寄与している。これらの結果は、日中に生じる海風の通り道(風の道)の確保の重要性を示している。

4. 将来の地球温暖化時代に向けたコンパクトシティの検討¹²⁾

日本の総人口は2010年の約1億2800万人をピーク¹⁹⁾として長期の減少過程に突入しており、2050年には現在よりも約20%の人口減少が推計⁹⁾されている。人口減少社会かつ厳しい財政状況の下、今後も都市が持続可能であるための方策の1つとして、コンパクトシティ(+ネットワーク)が多くの関心を集めている。しかし、多くの自治体では、コンパクトシティという目標を掲げるのみで、具体的な方針やシナリオ(モデル)がないのが現状である。ここでは愛知県を対象として、集約度の異なるコンパクトシティモデルを作成し、各々のコンパクトシティモデルの導入が将来(2050年代を対象)の都市温暖環境に及ぼす影響について、温暖化ダウンスケーリングシミュレーション(2章参照)を活用して検討した事例を紹介する。

コンパクトシティモデルに関しては、現状の①減災・防災対応、②公共交通充実度、③公共施設充実度、④生活施設充実度の評価に基づいて、愛知県内の都市域を人口維持都市域、人口誘導都市域、人口撤退都市域の3つに分類し、人口撤退都市域の全人口を人口誘導都市域に均等に移動させることを基本とし、基礎自治体集約型(図4(1))、地方都市集約型(図4(2))、大都市集約型(図4(3))の3種類のモデルの作成を試みた。それらのコンパクトシティモデルのうち、基礎自治体集約型が最も集約度が低く、大都市集約型が最も集約度の高いモデルとなっている。

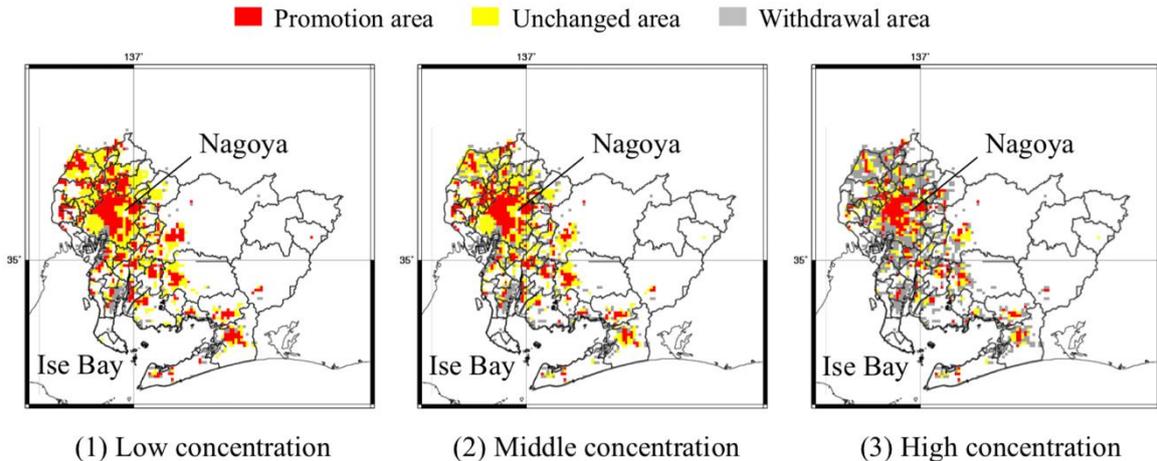


図4 コンパクトシティモデル（基礎自治体集約型・地方都市集約型・大都市集約型）¹²⁾

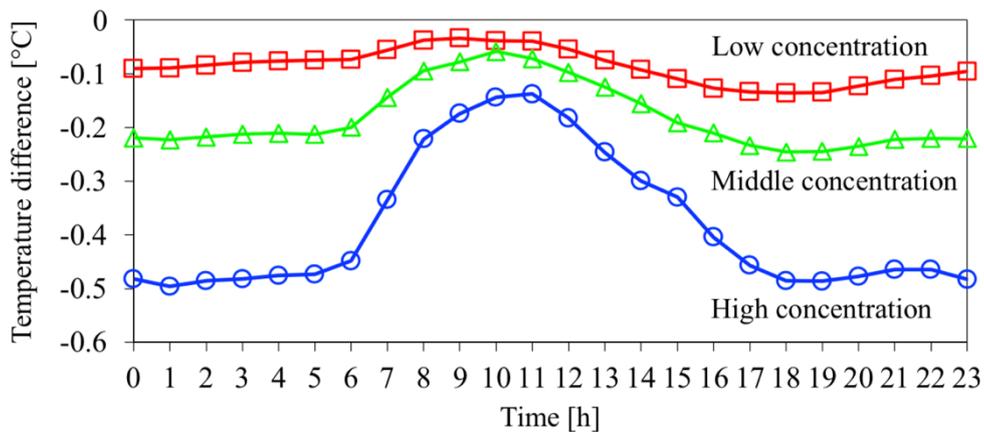


図5 人口撤退都市域の土地利用変更の有無に伴う気温差の日変化
（地上 2m・人口維持都市域と人口誘導都市域の空間平均+2050 年代 8 月 1 ヶ月時刻別平均）¹²⁾

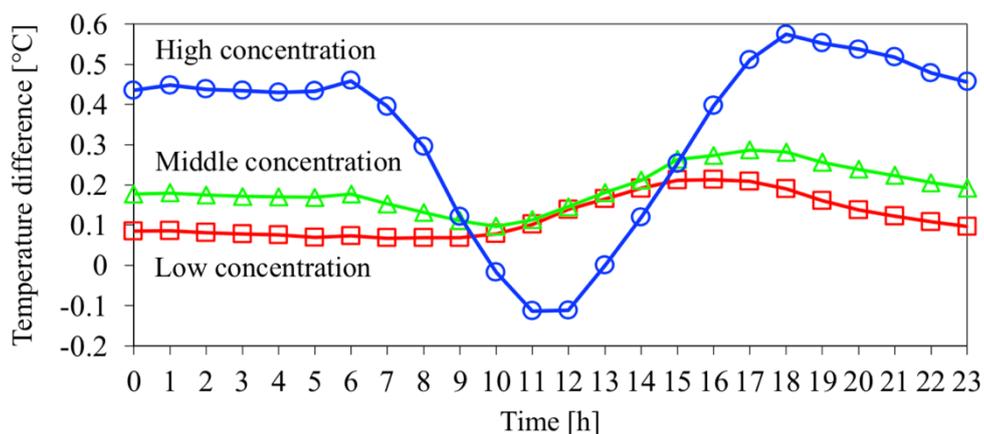


図6 コンパクトシティモデル各ケースと現状土地利用ケースの気温差の日変化
（地上 2m・人口維持都市域と人口誘導都市域の空間平均+2050 年代 8 月 1 ヶ月時刻別平均）¹²⁾

全球気候モデル（本事例では GFDL-CM3²⁰⁾）に導入する温室効果ガス排出シナリオは RCP8.5 シナリオ²¹⁾（RCP シナリオのうち、最も地球温暖化が進行するシナリオ）とし、作成したコンパクトシティモデル（図 4）（および現状土地利用モデル）を都市気候モデル（本事例では WRF¹⁸⁾）に導入し、2050 年代 8 月 1 ヶ月間を対象として実施した温暖化ダウンスケーリングシミュレーションの結果の一

例を図5と図6に示す。図5は、愛知県内の人口維持都市域と人口誘導都市域の空間平均+2050年代8月1ヶ月時刻別平均した気温（地上2m）の日変化に関して、各々のコンパクトシティモデルの人口撤退都市域で建物が残存したままの場合と更地化（草原化）した場合の差を比較したものである。図6は、愛知県内の人口維持都市域と人口誘導都市域の空間平均（現状土地利用ケースの場合は都市域平均）+2050年代8月1ヶ月時刻別平均した気温（地上2m）の日変化に関して、コンパクトシティモデル各ケースと現状土地利用ケースの差を比較したものである。図5に示すように、いずれのコンパクトシティモデルにおいても、人口撤退都市域で建物が残存したままの場合よりも更地化した場合の方が人口維持都市域と人口誘導都市域の空間平均気温が1日を通じて低くなっている。それぞれのコンパクトシティモデルにおいて、図5に示す気温低下量と、図6に示すコンパクトシティ化に伴う気温上昇量はほぼ相殺される関係となっている。これらの結果を踏まえると、集約した都市域の気温上昇緩和のためには、人口撤退都市域をそのまま放置せず、更地化などの整備（土地利用変更）を迅速に行うことも必要と判断される。

5. 最後に

2015年11月には「気候変動の影響への適応計画」²²⁾が閣議決定され、2018年6月には「気候変動適応法」²³⁾が成立し、最近、温暖化対応に関する日本国内の動きが活発化している（現在の温暖化は太古から続く気候変動の一部であり、厳密には気候変動＝温暖化ではないが、現在の温暖化時代の気候変動に限定して、気候変動＝温暖化を意味する場合が多い）。気候変動適応法では、政府に気候変動適応計画の策定を求め、都道府県および市町村には、政府の気候変動適応計画を勧告し、地域気候変動適応計画の策定を努力義務とするなど、国、地方公共団体、事業者、国民が気候変動適応の推進のために担うべき役割を明確化している。高齢者人口の増加に伴う健康被害患者の増加の懸念も含めて、温暖化対応の必要性・重要性はかつてないほどに高まってきている。

しかし、温暖化対応を実際のまちづくり・都市づくりに落とし込む場合、依然として課題は多い。まちづくり・都市づくりを行う上で様々な計画要素を包括的に検討する必要があることは本稿でも繰り返し述べているが、そのような検討を実際に行うのは難しい。温暖化問題はボクシングのボディブローのようにジワジワと効いてくる側面があるため、日本国内のこれまでのまちづくり・都市づくりでは軽視されがちで、少なくとも、温暖化対応を踏まえた上でさらに他の計画要素を明示的に結びつけて検討している例は皆無に近い。本稿で紹介した温暖化ダウンスケーリングシミュレーションは、温暖化対応を軸とするまちづくり・都市づくりの検討において、極めて有効な手段となることが期待される。ただし、温暖化ダウンスケーリングシミュレーションの活用は研究面での貢献の意味合いが強く、温暖化対応を社会実装にまで確実に結びつけるためには、政策決定者・実務者・研究者の密接な連携が欠かせない。そのような密接な連携を目指す上で、大きな障壁の1つとなるのが言葉・文化の壁である。研究者は特に、自分の専門分野の文化として用いられる難解な言葉の数々を使いがちである。そのため、異分野の研究者同士で十分なコミュニケーションが取れない場合も少なくない。政策決定者・実務者・研究者の全員が門外漢でも十分に理解できるような平易な言葉を用いることから始め、十分なコミュニケーションを図った上で密接な連携体制を構築し、これからの将来、ますます深刻化すると予測されている温暖化への対策（緩和策・適応策）を確実に社会実装にまで結びつける努力が不可欠であろう。

<参考文献>

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.
- 2) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Climate Change 2014: Synthesis Report, 2014.
- 3) 気象庁：世界の年平均気温, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html.
- 4) 気象庁：ヒートアイランド監視報告 2017, 2018.
- 5) 環境省：平成30年版環境・循環型社会・生物多様性白書, 2018.
- 6) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成29年推計）報告書, 2017.

- 7) 文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」：<http://www.jamstec.go.jp/kakushin21/kyousei/>.
- 8) 文部科学省「21世紀気候変動予測革新プログラム」：<http://www.jamstec.go.jp/kakushin21/jp/>.
- 9) 文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」：<https://www.jamstec.go.jp/sousei/>.
- 10) 稲津將, 佐藤友徳：大は小を兼ねるのか：ダウンスケーリング, 天気, 57(4), pp.195-199, 2010.
- 11) 文部科学省「気候変動適応研究推進プログラム」：フィードバックパラメタリゼーションを用いた詳細なダウンスケールモデルの開発と都市暑熱環境・集中豪雨適応策への応用（課題代表者：飯塚悟），<https://www.restec.or.jp/recca/staticpages/index/iizuka.html>.
- 12) Iizuka, S. : Future environmental assessment and urban planning by downscaling simulations, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 181, pp.69-78, 2018.
- 13) Iizuka, S., Xuan, Y., Kondo, Y. : Impacts of disaster mitigation/prevention urban structure models on future urban thermal environment, *Sustainable Cities and Society*, 19, pp.414-420, 2015.
- 14) 内閣府：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告），2012.
- 15) 中央防災会議・防災対策推進検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震対策について（最終報告），2013.
- 16) Nozawa, T., Nagashima, T., Ogura, T., Yokohata, T., Okada, N., Shiogama, H. : Climate change simulations with a coupled ocean-atmosphere GCM called the Model for Interdisciplinary Research on Climate: MIROC, *CGER's Supercomputer Monograph Report*, 12, 2007.
- 17) Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grüber, A., Jung, T. Y., Kram, T., La Rovere, E. L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. : *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- 18) Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X. Y., Wang, W., Powers, J. G. : A description of the Advanced Research WRF version 3, *NCAR/TN-475+STR*, NCAR Technical Note, 2008.
- 19) 総務省統計局：人口推計－平成30年8月報－，2018.
- 20) Donner, L. J., Wyman, B. L., Hemler, R. S., Horowitz, L. W., Ming, Y., Zhao, M., Golaz, J. C., Ginoux, P., Lin, S. J., Schwarzkopf, M. D., Austin, J., Alaka, G., Cooke, W. F., Delworth, T. L., Freidenreich, S. M., Gordon, C. T., Griffies, S. M., Held, I. M., Hurlin, W. J., Klein, S. A., Knutson, T. R., Langenhorst, A. R., Lee, H. C., Lin, Y., Magi, B. I., Malyshev, S. L., Milly, P. C. D., Naik, V., Nath, M. J., Pincus, R., Ploshay, J. J., Ramaswamy, V., Seman, C. J., Shevliakova, E., Sirutis, J. J., Stern, W. F., Stouffer, R. J., Wilson, R. J., Winton, M., Wittenberg, A. T., Zeng, F. : The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component of the GFDL global coupled model CM3, *Journal of Climate*, 24, pp.3484-3519, 2011.
- 21) Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K. : The representative concentration pathways: An overview, *Climatic Change*, 109, pp.5-31, 2011.
- 22) 環境省：気候変動の影響への適応計画について，<https://www.env.go.jp/press/101722.html>, 2015.
- 23) 環境省：気候変動の影響への適応，<http://www.env.go.jp/earth/tekiou.html>, 2018.