

# 世界主要都市における気候変動影響の評価

林 礼美<sup>1</sup>・紀伊 雅敦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員（公財）地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ（〒619-0292 京都府木津川市木津川台9-2）

E-mail:ayami@rite.or.jp

<sup>2</sup>正会員 香川大学 工学部 安全システム建設工学科（〒761-0396 高松市林町 2217-20）

E-mail:kii@eng.kagawa-u.ac.jp

世界約3650の主要都市を対象に、将来の日最高気温や日降水量等に関する気候予測データを分析し、将来の高温日数や多雨日数を都市毎に評価した。さらにその結果を基に、熱ストレスや都市排水等のリスクが増えると考えられる都市の推計を試みた。それによると、2050年に向け、72～134都市でこれらリスクが増え、温暖化のレベルが高い程該当する都市の数は多いと推計された。そのような都市はインド、東南アジア、中国南部に比較的多い。このような地域の都市では、仮に、温暖化レベルをここで想定した中で最も低く抑制できる場合でも、熱ストレスや都市排水等のリスクが増える可能性は高いと見込まれ、これらリスクへの対策が必要と考えられる。

**Key Words :** *Climate change, Urban area, High temperature, High precipitation, Impact, Adaptation*

## 1. はじめに

国連のレポート<sup>1)</sup>によると世界の都市人口は1950年以降増加を続け、2050年には世界人口の約2/3が都市に住むと見込まれている。一方、熱波や洪水等、気候変動の影響が次第に顕在化し、都市における効率的な適応策や緩和策を検討する上で、今後の気候変動影響への関心は高まってきている。

このような状況を踏まえ、世界都市域の気候変動影響評価が行われつつあるが、概念的な議論が少なくなく個々の都市への影響は必ずしも明らかでない<sup>2)</sup>。また、気候変動対策としては影響・適応と緩和のバランスが重要であるが、緩和策評価<sup>3)</sup>に比べると影響評価における温暖化レベルの考慮は十分といえない。

本研究では、世界約3650の主要都市を対象に、将来の日最高気温や日降水量等に関する気候予測データを分析し、将来の高温日数や多雨日数を都市毎に評価した。ここで、高温日数に着目した理由は、熱ストレスのリスク増加と直接関連すると考えたことによる。多雨は都市排水のリスクや、途上国における未舗装道路浸食のリスク増加につながる。海面上昇に伴う洪水影響も留意が必要であるが、内陸部に位置する都市も少なくない。本研究では全ての都市に共通する重要な影響項目として、前述の2つを取り上げた。さらに、温暖化レベルや気候予測の不確実性も考慮の上、今後、このようなリスクが増すと考えられる都市を試験的に推計した。

## 2. 評価方法

### (1) データ

世界の主要都市として、2000年に人口が10万人以上の約3650都市<sup>4)</sup>を対象とした。これらの都市に2000年で世界人口の約30%が住んでおり<sup>4)</sup>、さらに2050年には社会経済発展シナリオによるが世界人口の40～55%がこれらの都市に住むと予測されている<sup>5)</sup>。

気候データには、Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISI-MIP) におけるバイアス補正済の日気候データ<sup>6)</sup>を用いた。気候モデルによる予測の不確実性を考慮するため、予測傾向が異なる3つのモデル (MIROC-ESM-CHEM, HadGEM2-ES, GFDL-ESM2M) の値を用いた。空間解像度は $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  (赤道付近で約50km × 50km) と比較的粗いことより、各都市の代表地点 (緯度、経度) が含まれるグリッドの値をその都市の気候値とした。分析対象の時点は、2000年 (1996～2005年) と2050年 (2046～2055年) の2つである。参考まで1955年 (1951～1960) についてもデータを整備した。

温暖化レベルはRCP8.5, RCP4.5, RCP2.6の3つである。数字は2100年の放射強制力を示しており、大きいほど温暖化レベルが大きいことを意味する<sup>7)</sup>。IPCC 報告書<sup>8)</sup>等によると、RCP8.5はGHG排出について特段の抑制がない場合、RCP2.6は2100年の全球平均気温上昇を産業革命前比約2°Cに抑制するようにGHG排出を大幅に削減する場合、の温暖化レベルに大凡対応する。

(2) 高温日と多雨日の想定

1996～2005年のデータを用い、都市毎に各年の日最高気温の97パーセンタイル値、日降水量の97パーセンタイル値を算出する。それぞれ、1996～2005年の平均値を「高温」と「多雨」の閾値とした。

次に、都市毎に2046～2055年の各年について日最高気温が「高温」以上の日数、日降水量が「多雨」以上の日数を算出した。それぞれについて、10年間の平均値を2050年の高温日数、多雨日数と呼ぶ。当然ながら、2000年（1996～2005年）の高温日数、多雨日数はいずれも12日である。よって、2050年（2046～2055年）における、これらの日数が、12日よりどれだけ増減するかが評価のポイントとなる。

3. 評価結果

(1) 年平均気温

図-1に、3650都市の2000年と2050年の年平均気温を示す。気候データはMIROC-ESM-CHEMモデルによるRCP8.5, RCP4.5, RCP2.6に対する予測値である。図より、2000年に世界主要都市の年平均気温は-11～30℃で、幅広い温度帯に都市が存在することが読み取れる。全都市の平均値は17.2℃である。2050年には温暖化によってほとんどの都市で年平均気温が上昇する。RCP2.6のようにGHG排出を厳しく抑制する場合でも-7～32℃（全都市平均は19.1℃）、RCP4.5では-6～33℃（同19.3℃）、RCP8.5では-4～34℃（同20.2℃）になると予測されている。参考まで、1955年の気温は-11～30℃であったことを考慮すると、世界の多くの都市では2050年までに20世紀後半の経験を上回る気温上昇が予想されているといえる。

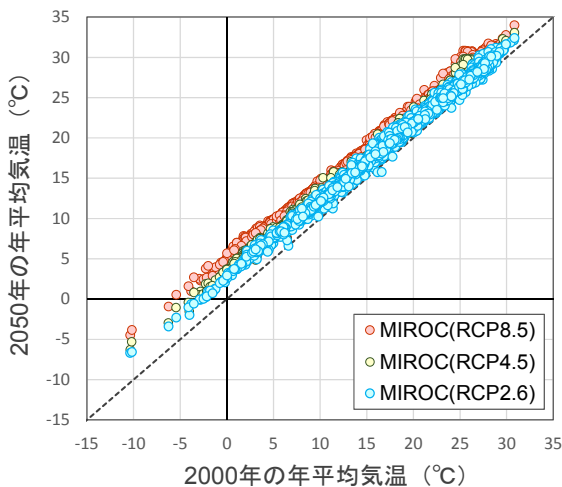


図-1 主要都市の年平均気温（2000年と2050年）

(2) 2050年の高温日数と多雨日数

図-2は、温暖化レベルが最も低いRCP2.6について、2050年の高温日数と多雨日数を示したものである。2. (2) 節で述べたように、これらの日数が12日を上回る都市は2000年に比べ、高温日数、多雨日数が増えると予測されていることを意味している。なお、温暖化レベルが同じでも気候モデルによって想定されている気候応答の感度は異なることより、高温日数や多雨日数に違いがある。3つのモデルの中では、MIROC-ESM-CHEMは特に高温日数が多く算定される傾向見られる。逆に、GFDL-ESM2Mは、高温日数は少ない傾向がある。

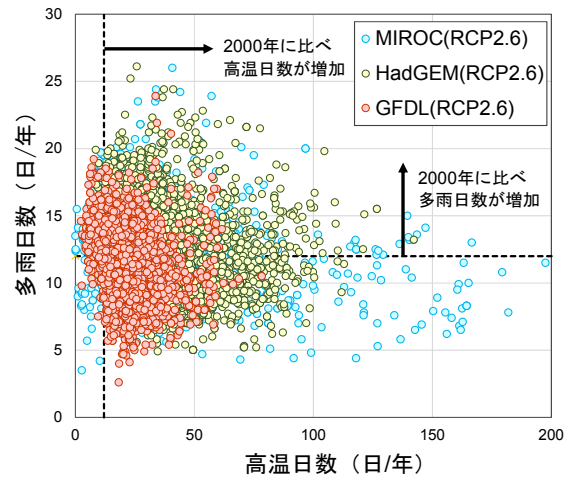


図-2 主要都市における2050年（RCP2.6）の高温日数と多雨日数

(3) 熱ストレスや都市排水等のリスクが増えると考えられる都市

試験的であるが、2050年の高温日数と多雨日数を基に、熱ストレスや都市排水等のリスクが増えると考えられる都市を推計する。条件として、次の①と②を共に満たす都市とした。

- ① 2050年の高温日数と多雨日数が、3つの気候モデル全ての気候データで、2000年の日数（12日）を上回る。（より多くのモデルで予測される方が発生の可能性が高いと見なし、可能性の高い都市に着目する。）
- ② 2000年の年平均気温が全都市平均値（17.2℃）を上回り、かつ、2000年の年平均降水量が全都市平均（2.9 mm/day）を上回る。

ここで②は、仮に①で高温日数と多雨日数が増えても、もともと寒冷であったり少雨の地域では、必ずしも熱ストレスや都市排水等のリスク増に繋がらない可能性が考えられることより、そのような地域を省くために設けた。

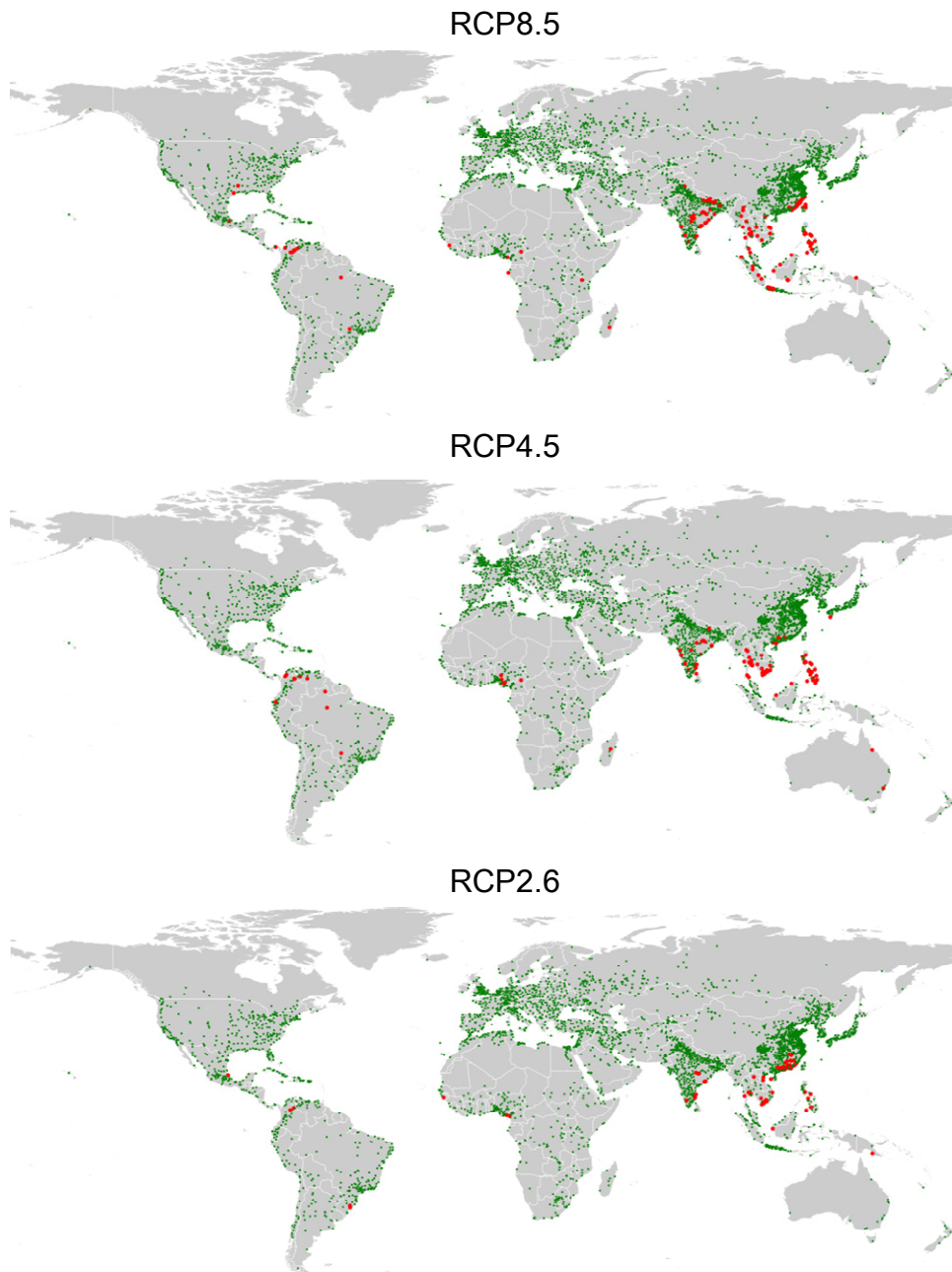


図-3 世界の主要都市分布

- \* 赤：2050年にかけて熱ストレスや都市排水等のリスクが共に増えると考えられる都市  
 緑：それ以外の都市

推計の結果、2050年にかけて熱ストレスや都市排水等のリスクが共に増えると考えられる都市の数は、RCP8.5、RCP4.5、RCP2.6でそれぞれ、134、96、72都市であった。各都市の分布を図-3に赤色で示す。図より、そのような都市は温暖化レベルによらずインド、東南アジア、中国南部に多く推計されていることが分かる。なお、RCP2.6で熱ストレスと都市排水のリスクが増えると推計された都市が、必ずしもRCP4.5やRCP8.5でもこれらリスクが増える結果

になっていない。都市毎に見ると、温暖化レベルと、高温日数や多雨日数は必ずしも線形的でないため、気候モデル予測の不確実性に関連すると考えられる。すなわち、モデル予測に不確実性があることを考慮すると、熱ストレスや都市排水リスクが増す都市を温暖化レベル毎に特定することは、現時点では難しいと考えられる。但し、上述したような地域の都市で、リスクが増す可能性が高いという解釈は、現在の知見に基づく限り間違いがないと考えられる。従

って、このような地域の都市では、将来の高温日や多雨日に対する備えが必要といえる。

なお、本稿では、高温日数と多雨日数への影響のみを分析したが、これらの日数が減る一方で強度が法外に強まる可能性の分析と、それも合わせたリスク評価は今後の課題である。また、アフリカ等で新たな地点に都市が発生する見込みについても検討の余地があると考えられる。

#### 4. まとめ

世界約3650の主要都市を対象に、将来の日最高気温や日降水量等に関する気候予測データを分析し、将来の高温日数や多雨日数を都市毎に評価した。さらにその結果を基に、熱ストレスや都市排水等のリスクが増えると考えられる都市の推計を試みた。それによると、2050年に向け、熱ストレスと都市排水のリスクが共に増えると考えられる都市は72~134都市と推計された。この上限値は、GHG排出を特段抑制しない場合の気候シナリオ、下限値は、2100年の全球平均気温上昇を産業革命前比約2℃に抑制するようにGHG排出を大幅に削減する場合の気候シナリオに対応する。地域はインド、東南アジア、中国南部に多い。すなわち、このような地域では、仮に、世界のGHG排出削減が理想的に進展したとしても、熱ストレスや都市排水のリスクが共に増える可能性が高いと見込まれ、これらリスクへの対策が必要と考えられる。

なお、本研究では頑強な都市づくりという観点から、リスク増加に関する影響について評価した。一方で、気候変動により最低気温が上昇し良い影響が生じる可能性も考えられる。持続発展的な都市の検討に向けてより包括的な影響評価が必要である。

謝辞：気候予測データの利用にあたり、ISI-MIPのモデルチーム、コーディネイトチームに謝意を表します。また、データ管理ではRITEシステム研究グループ中村直樹研究助手のサポートを頂きました。深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) United Nations: World Urbanization Prospects, 2014 revision, 2014.
- 2) Revi, A., D.E. Satterthwaite, F. et al.: Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612, 2014.
- 3) Edenhofer, O. et al.: Summary for Policymakers, In Climatic Change 2014: Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp. 1-30, 2014.
- 4) Lincoln Institute of Land Policy.  
<http://www.lincolnst.edu/subcenters/atlas-urban-expansion/google-earth-data.aspx>. (アクセス日：2015.10.8)
- 5) Kii, M., Nakamura, K. and Akimoto, K.: Projections of global urbanisation under the SRES and SSP scenarios, *Transportation Research Procedia*. (Accepted).
- 6) ISI-MIP Fast Track: <https://www.pik-potsdam.de/research/climate-impacts-and-vulnerabilities/research/rd2-cross-cutting-activities/isi-mip/data-archive>. (アクセス日：2016.3.17)
- 7) Meinshausen, M. et al.: The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, *Climatic Change*, 109:213–241, 2011.