

地球温暖化による熱中症被害コストの計測

大野 栄治¹・脇岡 靖明²・高橋 潔³・陳 玲⁴

¹正会員 名城大学教授 都市情報学部 (〒509-0261岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

E-mail: ohno@urban.meijo-u.ac.jp

²正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究領域 (〒305-8506茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: hijioka@nies.go.jp

³正会員 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: ktakaha@nies.go.jp

⁴非会員 名城大学大学院都市情報学研究科修士課程 (〒509-0261岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

本研究では、3つのGHG濃度安定化シナリオ (①450sシナリオ: GHG濃度450ppm安定化シナリオ, ②550sシナリオ: GHG濃度550ppm安定化シナリオ, ③BaUシナリオ: なりゆきシナリオ) における熱中症被害コストを計測した。その結果、低いGHG濃度で安定化させるほど熱中症被害コストを低く押さえられることがわかった。そして、各シナリオ (450s, 550s, BaUシナリオ) における熱中症被害コストの全国平均は、今世紀中頃にはそれぞれ373億円/年, 480億円/年, 529億円/年, さらに今世紀末にはそれぞれ501億円/年, 775億円/年, 1,192億円/年に達すると見込まれることがわかった。

Key Words : damage cost, global warming, heatstroke

1. はじめに

熱中症 (熱疲労, 熱痙攣, 熱射病) とは、熱ストレスの典型であり、暑いことが有害な刺激となって起こる生体反応である。特に循環系・呼吸系の疾病がある人や循環系・呼吸系の予備力が低下した高齢者にとっては、熱中症は心機能を破綻に至らしめる危険な病気である。

厚生労働省の人口動態統計によると、熱中症死者数は年々増加し、2007年には904人に達している (図-1)。その男女別内訳を見てみると、男女比はおよそ6対4となっている (図-2)。男性が女性より熱中症に対して脆弱であることがわかる。

一方、国立環境研究所は、救急搬送された熱中症患者情報より、以下のことを指摘している¹⁾。

- 1) 男性患者が全体の2/3を占めている。男性患者の年代別偏りはほとんどないが、女性患者の過半数が65歳以上である。
- 2) 発生場所について、18歳以下の患者は学校 (特に運動中) での発生、19～64歳の患者は多様な場所 (特に屋外での作業中) での発生、65歳以上の患者は自

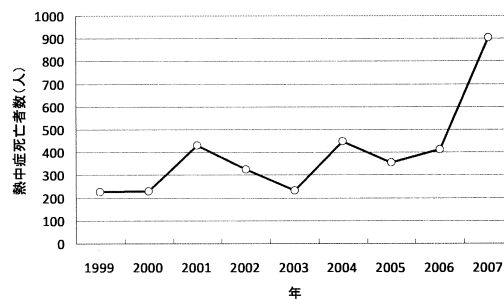


図-1 熱中症死亡者数の年次推移

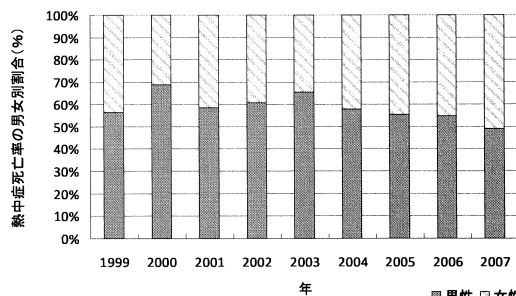


図-2 熱中症死亡者の男女別割合

宅・居室での発生が特徴である。

- 3) 日最高気温が25℃あたりから患者が発生し、31℃を超えると急激に増加する。なお、35℃を超えるあたりから64歳以下の患者発生率の上昇は（屋外での活動を控えるので）鈍るが、65歳以上の患者発生率は単調に上昇する。

したがって、地球温暖化がこのまま進行して、高温が続くようになると、特に高齢者の熱中症患者数・死亡者数が増加すると考えられる。

先行研究では、仮想市場評価法（CVM: Contingent Valuation Method）により熱ストレス（熱中症）被害を回避するための支払意思額（WTP: Willingness To Pay）および統計的生命価値（VSL: Value of Statistical Life）を推計した²⁾。本研究では、現状の熱中症による年間死亡者数に熱ストレス超過死亡推計モデルで推計された将来リスク変化を掛け合わせて熱中症死亡者数の変化を予測し、さらに先行研究のVSLを掛け合わせて将来の熱中症被害コストを推計した。

2. 地球温暖化のシナリオ

本研究では、温室効果ガス（GHG: greenhouse gas）排出経路、GHG濃度、気温上昇と分野別影響を統合的に評価するための統合評価モデルAIM/Impact[Policy]^{3), 4), 5)}を用いて、GHG濃度が二酸化炭素（CO₂）等価濃度で450ppmおよび550ppmに安定化するという2つの「安定化シナリオ」、さらに「なりゆき（BaU: business as usual）シナリオ」を開発した。

これらの3つのシナリオ（450s, 550s, BaUシナリオ）は、産業革命前に比べて2100年の平均気温がそれぞれ2.1℃、2.7℃、3.8℃の上昇に対応している（図-3）。ここで、①平衡気候感度は3℃とし、②炭素フィードバック効果は考慮せず、③GHG濃度にはGHGおよびエアロゾルの冷却効果も含むものである。また、対象年代は、2020s: 2011～2030年、2030s: 2021～2040年、2040s: 2031～2050年、2050s: 2041～2060年、2060s: 2051～2070年、2070s: 2061～2080年、2080s: 2071～2090年、2090s: 2081～2100年のように設定した。

AIM/Impact[Policy]は、政策目標として設定された気候安定化レベルや排出削減目標などに対して、温暖化影響を2100年まで時系列で算定できる。したがって、このAIM/Impact[Policy]を使うことにより、ある気候安定化目標の達成によって、許容し難い水準の深刻な温暖化影響を回避できるかどうかを検討できる。

AIM/Impact[Policy]を用いた影響評価の手順を図-4に示す。まず、AIM/Impact[Policy]のエネルギー・経済モデルから提供される全球平均気温変化シナリオを用いて、パターンスケーリングにより国別・県別の気候シナリオが作成される。パターンスケーリングとは、気候要素の将来変化の空間分布をGCM実験出力から抽出し、簡易的な気温上昇推計モデルから得られる排出想定別の全球平均気温上昇量予測と組み合わせ、多様な排出想定下での各気候要素の空間的な変化予測を簡便に得るための手法である。

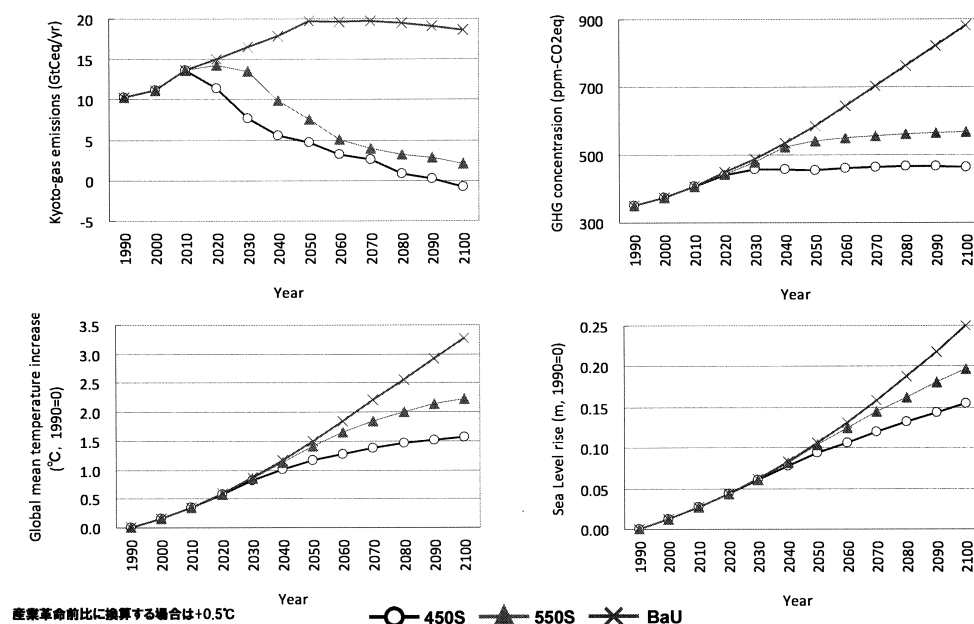


図-3 シナリオ別の世界全体のGHG排出量・GHG濃度・世界平均気温変化・海面上昇量

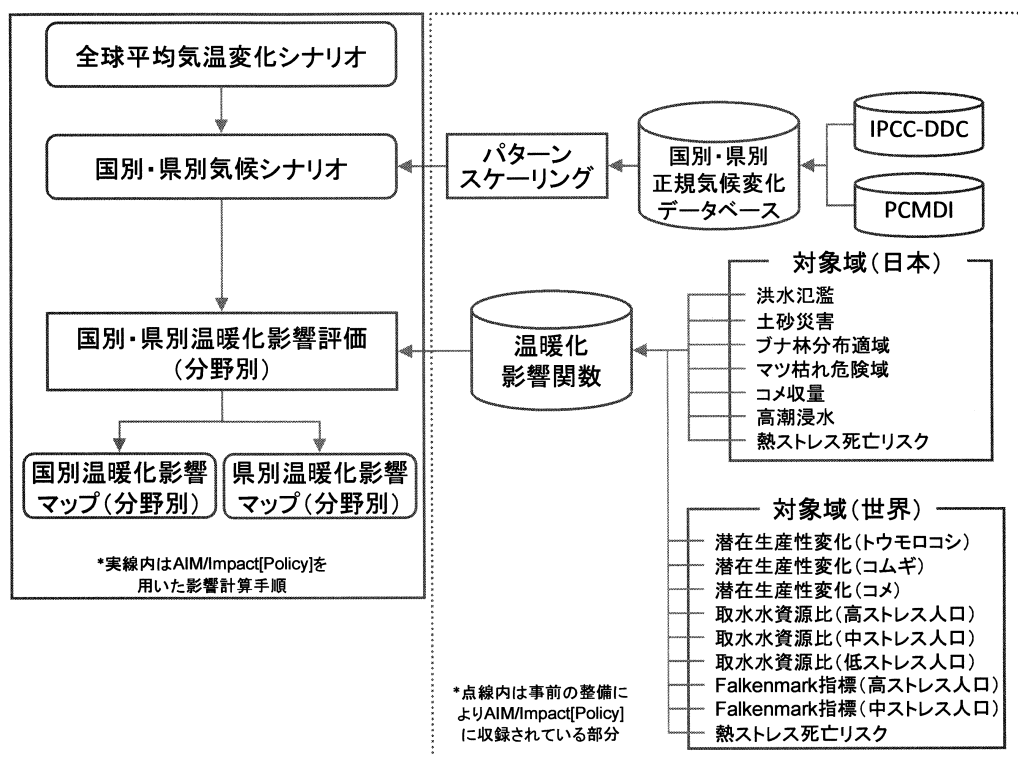


図-4 世界多地域多部門影響評価・適応モデル（データベース型モデル）概念図

そのため、気候要素の空間分布を全球平均の気温変化量に応じてあらかじめ決めておけば、容易に求めることができる。本研究における分析では、国立大学法人東京大学気候システム研究センター（CCSR）、独立行政法人国立環境研究所（NIES）、独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター（FRCGC）の合同研究チームが開発した全球気候シナリオであるMIROC3.2-hiresを用いた。その後、国別・県別の気候シナリオをそれぞれの国・地域について用意された分野別影響関数に入力することで、国・地域別の分野別影響が計算される。

3. 各シナリオにおける死亡リスクの変化

本研究では、熱ストレス死亡推計モデルを用いて各シナリオにおける熱ストレス死亡リスク（一人の人間が一年間に熱ストレスにより死亡する確率）を推計した（図-5, 6）。ここで、基準期間（1981～2000年）の死亡リスクについては、基準期間20年間の日最高気温データ（観測値）を用いて県別に推計した。一方、将来期間の死亡リスクについては、基準期間20年間の日最高気温データに一律（気候変化の季節差を考慮せず）に県別の年平均気温変化を足し合わせることで将来期間の日最高気温デ

ータを作成して推計した。なお、将来の人口は1990年の値で一定とし、人口数・構成の変化は考慮していない。また、低気温での超過死亡の変化は対象とせず、気温上昇による高気温での超過死亡の変化のみを検討し、適応は起こらないと仮定した。

図-5より、低いGHG濃度で安定化させるほど熱ストレス死亡リスクは小さくなることが読み取れる。特に、最も厳しい安定化レベル（450sシナリオ）の場合には、死亡リスクの増加速度が今世紀末に向かって徐々に低下すると見込まれる。各シナリオ（450s, 550s, BaUシナリオ）における死亡リスクの経年変化を見てみると、今世紀中頃にはそれぞれ現状比約1.8倍、約2.1倍、約2.2倍となり、シナリオ間の差は比較的小さいが、今世紀末にはそれぞれ約2.1倍、約2.8倍、約3.7倍となり、シナリオ間の差は広がると見込まれる。

地域別の熱ストレス死亡リスクについては、中国・四国・九州地方でいずれのシナリオにおいても最も高いリスク変化が生じると見込まれる。なお、この結果は他地域に比べて当該地域の日最高気温の上昇が大きいためではなく、当該地域の基準期間の熱ストレス死亡リスク推計値が比較的小さい（至適気温が高く、基準期間の日最高気温がそれを超過する日数が少ない）ことに起因している。

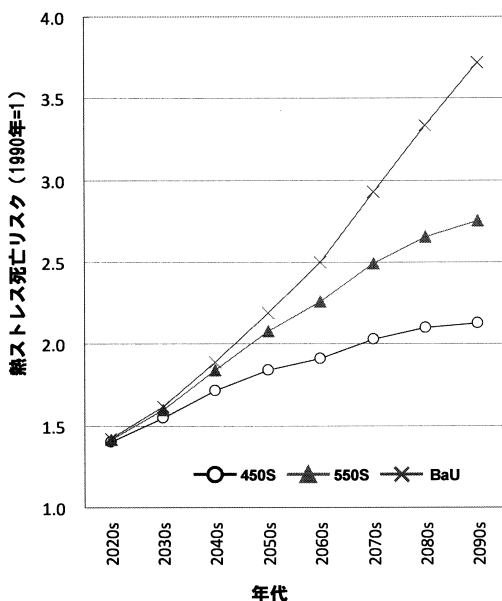


図-5 熱ストレス死亡リスクの変化（全国平均）

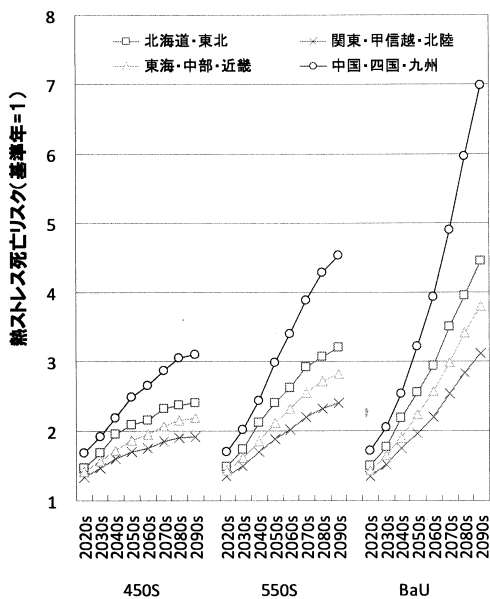


図-6 熱ストレス死亡リスクの変化（地域別）

4. VSLの推計

(1) VSLの考え方

WTPをベースとした生命の評価値がVSLであり、次式で定義される。

$$VSL = \frac{WTP(\Delta Risk)}{\Delta Risk} \quad (1)$$

ただし、 VSL ：統計的生命価値、 $WTP(\Delta Risk)$ ：リスクの減少量に対する支払意思額、 $\Delta Risk$ ：リスクの減少量。

(2) VSLの推計と結果

先行研究²⁾において、CVMにより熱中症死亡リスクの増加を回避するためのWTPを推計するとともに、式(1)で定義されるVSLを評価した。

まず、2008年5月中旬、全国の成人男女を対象にしてインターネット利用のCV調査を実施した。アンケート調査の表題は『地球温暖化問題に関する意識調査』であり、アンケート票の質問内容は、問1：地球温暖化の問題に対する関心度、問2：地球温暖化による熱中症の増加に対する関心度、問3：熱中症の患者数の増加を回避するためのWTP、問3：熱中症による死者数の増加を回避するためのWTP、である。ここで、質問形式は『多段階二項選択』、支払手段は『負担金』、支払形式は『毎年払い』、支払単位は『個人』とした。

次に、アンケート調査のデータを用いて、熱ストレス（熱中症）死亡リスクの増加を回避するためのWTPを推計した。その結果、熱中症死者数人口10万人あたり年間0.3人（現状値）から年間0.6人、0.9人、1.5人、3.0人（将来の仮想値）に増加することを回避する（すなわち現状値を維持する）ためのWTPは、それぞれ271, 569, 1,195, 2,849円/年と推計された（表-1）。そして、このWTPをそれぞれの死亡リスクの変化分で割ることにより、熱ストレス（熱中症）に関するVSLは0.902～1.055億円と評価された（表-1）。

表-1 WTPとVSLの評価結果

ケース	死亡リスクの変化 (人口10万人あたり 年間死亡者数)	WTP [円/年]	VSL [億円]
1	0.6 → 0.3	271	0.902
2	0.9 → 0.3	569	0.948
3	1.5 → 0.3	1,195	0.996
4	3.0 → 0.3	2,849	1.055

5. 各シナリオにおける被害コストの変化

厚生労働省の人口動態統計によると、現状での熱中症による年間平均死亡者数はおおよそ400人/年である。この年間平均死亡者数に熱ストレス超過死亡推計モデルで推計された将来リスク変化を掛け合わせて熱中症死亡者数の変化を予測し、さらに上記のVSLを掛け合わせて将来の熱中症死亡被害コストを推定した（図-7）。

図-7より、低いGHG濃度で安定化させるほど熱中症被害

害コストは低く押さえられることが読み取れる。特に、最も厳しい安定化レベル（450sシナリオ）の場合には、被害コストが約500億円/年でほぼ頭打ちになると見込まれる。各シナリオ（450s, 550s, BaUシナリオ）における被害コストの経年変化を見てみると、今世紀中頃にはそれぞれ約373億円/年、約480億円/年、約529億円/年となり、シナリオ間の差は比較的小さいが、今世紀末にはそれぞれ約501億円/年、約775億円/年、約1,192億円/年となり、シナリオ間の差は広がると見込まれる。

熱中症被害コストは3つの指標（死亡リスクの変化、人口、VSL）を掛け合わせて求められる。したがって、基準期間および将来期間の熱ストレス死亡リスク推計値が高く、人口も多い関東・甲信越・北陸地方および東海・中部・近畿地方では、大きい被害コストが見込まれる。

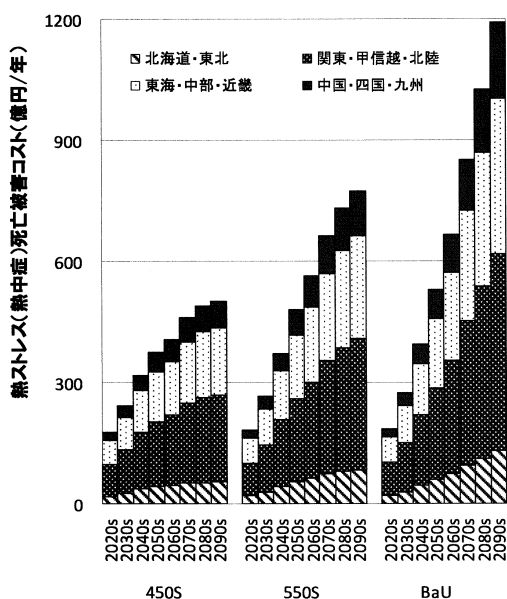


図-7 熱ストレス死亡被害額の変化（地域別）

6. まとめ

本研究では、3つのGHG濃度安定化シナリオ（①450sシナリオ：GHG濃度450ppm安定化シナリオ，②550sシナリオ：GHG濃度550ppm安定化シナリオ，③BaUシナリオ：なりゆきシナリオ）における熱中症被害コストを計測した。その結果、低いGHG濃度で安定化させるほど熱中症被害コストを低く押さえられることがわかった。そして、各シナリオ（450s, 550s, BaUシナリオ）における熱中症被害コストの全国平均は、今世紀中頃にはそれぞれ373億円/年、480億円/年、529億円/年、さらに今世紀末にはそれぞれ501億円/年、775億円/年、1,192億円/年に

達すると見込まれることがわかった。

しかし、本研究で計測した熱中症被害コストは、熱中症の死亡リスクに対する不安感を経済的に評価したものであり、ここには熱中症に罹ってから死亡に至るまでの医療費や死亡による遺失利益などが含まれていない。また、幸いにして死亡に至らない場合の不安感や医療費なども含まれていない。ここで、医療費や遺失利益などの経済価値は市場の統計データに基づいて計測することができる。一方、熱中症の疾病リスク（熱中症に罹るが死亡に至らない事象）の不安感の経済評価については、死亡リスクと疾病リスクとの関係において不明な点（重複部分と独立部分）があり、今後の研究課題としたい。

謝辞：本研究は、環境省の平成20年度地球環境研究総合推進費（研究課題：温暖化の危険な水準および温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究、代表者：三村信男）を受けた研究成果の一部である。また、本研究の遂行において、小野雅司氏（国立環境研究所環境健康研究領域総合影響評価研究室）、本田靖教授（筑波大学大学院人間総合科学研究科）および森杉壽芳教授・林山泰久教授（東北大学大学院経済学研究科）より貴重な助言を賜ったことを付記するとともに、謝意を表したい。

参考文献

- 1) 小野雅司：熱中症患者の発生状況と今後の予測，環境儀，No.32, 2009.
- 2) 大野栄治・林山泰久・森杉壽芳・中畠一憲：地球温暖化による熱中症死亡リスクの経済評価—CVMによるVSLの計測—，地球環境研究論文集，No.17，印刷中，2009.
- 3) Hijioka, Y., Masui, T., Takahashi, K., Matsuoka, Y. and Harasawa, H.: Development of a Support Tool for Greenhouse Gas Emissions Control Policy to Help Mitigate the Impact of Global Warming, Environmental Economics and Policy Studies, Vol.7, No.3, pp.331-345, 2006.
- 4) 脇岡靖明・高橋潔・久保田泉：統合評価モデルを用いた温室効果ガス安定化濃度目標下におけるイネ・小麦の潜在生産変化の国別影響評価，環境情報科学論文集，No.20, pp.19-24, 2006.
- 5) Hijioka, Y., Matsuoka, Y., Nishimoto, H., Masui, T. and Kainuma, M.: Global GHG Emission Scenarios under GHG Concentration Stabilization Targets, Journal of Global Environment Engineering, Vol.13, pp.97-108, 2008.

MEASUREMENT OF HEATSTROKE DAMAGE COST BY GLOBAL WARMING

Eiji OHNO, Yasuaki HIJIOKA, Kiyoshi TAKAHASHI and Ling CHEN

In this study, the heatstroke damage cost has been measured under 3 scenarios (450s scenario, 550s scenario, and BaU scenario). The result indicates that the lower the level at which GHG concentration is stabilized, the lower the cost of damage due to heat stress (heatstroke) mortality becomes. And, around the middle of this century, the cost will be expected reaching approximately 37.3 billion yen/year (450s), 48.0 billion yen/year (550s), and 52.9 billion yen/year (BaU). However, at the end of this century, the cost will be expected reaching approximately 50.1 billion yen/year (450s), 77.5 billion yen/year (550s), and 119.2 billion yen/year (BaU), respectively.