

課題名 S-8-1(7) 温暖化の健康影響-評価法の精緻化と対応策の構築-

課題代表者名 本田 靖 (筑波大学体育系)

研究実施期間 平成22～26年度

累計予算額 97,556千円(うち26年度17,059千円)、ただし26年度に3,991千円返納
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 熱関連死亡、至適気温、distributed lag non-linear model、自動的適応、介入研究、費用効果分析、脆弱集団、行動変容

研究体制

- (1) 温暖化死亡影響モデルの精緻化・簡易化(国立大学法人筑波大学)
- (2) 熱波警報対策システムの構築及びその有効性と経済性の評価(国立大学法人筑波大学)

研究協力機関

長崎大学、大阪府立大学、国立環境研究所

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

気温の上昇の直接的な影響として、気温上昇のために熱中症をはじめ、様々な疾患で死亡する人が増加する。わが国においても、環境省、地方自治体などの対応、マスコミによる情報提供などが行われてはいるものの、最近でも気温が高い日には熱中症などによる死亡数が多数発生したという報道が毎年繰り返されている。このような熱関連死亡に対する地球温暖化の影響がどの程度であるかは世界的にも大きな関心事である。しかしながら、熱関連死亡の影響は気候によって異なるために、予測が困難で、IPCCの第4次報告書においても、世界の将来予測は行われていなかった。この、気候によって影響が異なるという点に関して、既にS-4研究において、図1(7)-1示した至適気温を気候から推測する理論を発見し、各地域の将来の気温分布と年間死亡数のみを用いて全球規模で熱関連死亡数の予測を可能にするモデルを世界に先駆けて開発済みであった。しかし、図1(7)-1の超過死亡を予測するために、本来であれば非線形のモデルを用いるべきであるのに、図1(7)-2のように非常に粗い推定にとどまっていた。その欠点を克服し、更に持ち越し効果(ある日の高気温の影響が翌日以降も残ること)を組み込めるような手法、distributed lag non-linear modelが提案され、非線形のリスク関数構築の道が開けてきた。

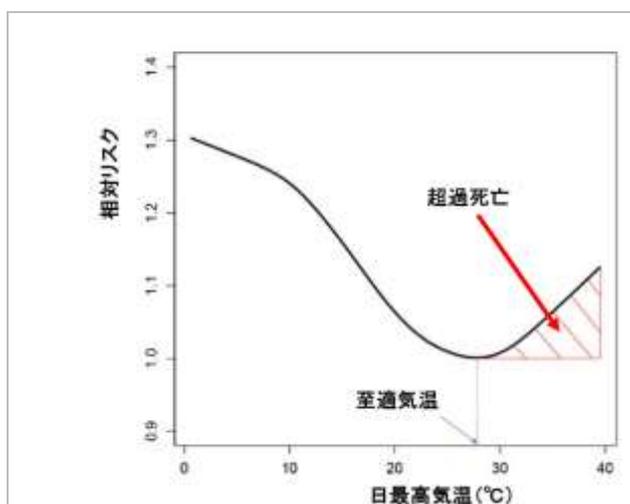


図1(7)-1. 熱関連超過死亡と至適気温

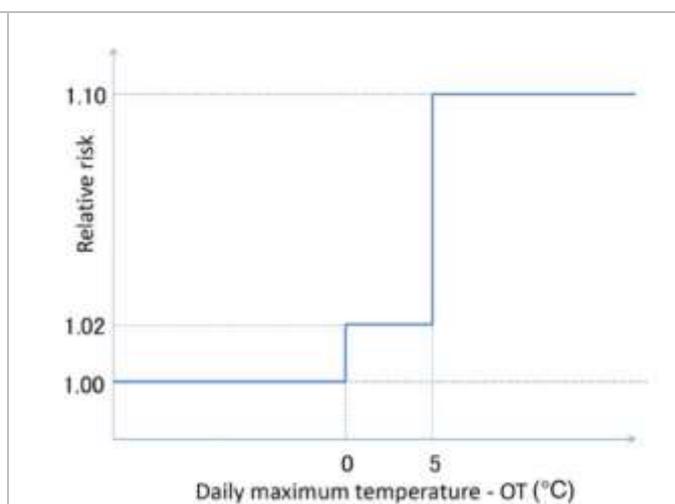


図1(7)-2. S-4でのリスク関数

一方、温暖化でより深刻となる熱関連死亡への適応策として、熱波警報システムがある。海外においては都市レベルでの介入例がいくつか認められるものの、わが国では介入研究が行われておらず、環境省やマスコミからの一方通行の情報提供にとどまっていた。地方自治体も、独自の取り組みが行われてきてはいるが、経済的な視点からの評価報告は皆無であった。

2. 研究開発目的

上記のS-4で発見した理論が、多くの地域で実際に適用可能なのかを確認し、その理論をもとにわが国における約40年間の死亡・気象データを用いることで高気温の日が少ないことによる統計的不安定性を克服し、distributed lag non-linear modelを用いて持ち越し効果を組み入れた非線形のリスク関数を構築することで、S-4の方法よりも精緻に全球を対象とした熱関連死亡の将来予測を可能にする。

将来予測については、社会経済シナリオに従って決定される人口、死亡率などをもとに、将来の状況を想定することになる。その状況で気候が現在のままの場合の熱関連死亡数と大循環モデルに従って気温が上昇した場合の熱関連死亡数の差、「気候変化で引き起こされる熱関連死亡数」を予測する。なお、北海道から沖縄県まで、特に意図的な熱波への適応は行われてこなかったが、暖かい気候の地域ほど至適気温が高くなっている。これを自動的適応と呼ぶ。この自動的適応の影響も将来予測に組み込む。

熱波警報システムに関しては、まず市町村で行われている対策の現状、冷房機器に関する高齢者の居住環境、暑熱への対処行動に関する情報を収集して、問題点を抽出する。その問題点を克服できる熱波警報システム構築を行う。システムは、ターゲットとなる脆弱高齢者が実際に行動変容をおこせるよう、単純で忘れにくいものにする。実際に地方自治体で介入研究を稼働させ、その効果を費用効果分析によって経済学的に評価する。

3. 研究開発の方法

(1) 温暖化死亡影響モデルの精緻化・簡易化

まず、ヨーロッパ、北米のデータを用いて、S-4で発見した理論が広く成り立つことを確かめた。

熱関連死亡数を求めるためには、まず気温の関数としてリスクを表すリスク関数の構築が必要である。わが国47都道府県、約40年間のデータを用い、distributed lag non-linear modelによって、日最高気温一適気温とその持ち越し効果の影響を、3次自然スプラインで回帰し、非線形のリスク関数を作成した。

将来の影響予測に関しては、1961年から1990年の気候をベースラインとした。社会経済シナリオとしてはSRES A1Bを用い、5つの大循環モデルによって2030年、2050年の気候を推測した。この推測によって全球を0.5度ごとに区分したグリッドごとに日最高気温分布の推測値が得られるので、それぞれのグリッドについてSRES A1Bシナリオに従った時の死亡数から、上記リスク関数を適用して熱関連死亡数を計算した。

(2) 熱波警報対策システムの構築及びその有効性と経済性の評価

現状の把握のために、全市町村に調査票を送付してこれまでに実施した熱中症予防対策に関する調査を行い、また大都市に居住する高齢者の居住環境（冷房装置の設置状況を含む）及び熱波の際の対処行動に関するweb調査を行った。

上記の調査からの問題点なども踏まえ、医療を受けていない一般高齢者を対象とした熱中症予防介入試験を長崎県五島市と埼玉県三郷市で実施した。五島市では、温度計およびペットボトルの水送付群と対照群で熱中症予防行動の変容に相違があったかを評価するとともに、費用効果分析を行った。

4. 結果及び考察

(1) 温暖化死亡影響モデルの精緻化・簡易化

得られたリスク関数を、図1(7)-3に示す。ある地域で日最高気温が至適気温を約7度超過すると、リスクが1.1倍になっている。このリスク関数を元に、将来の65歳以上地域別熱関連死亡数(5つの大循環モデルによる推定値の平均)を求めた結果を図1(7)-4に示す。青が2030年、赤が2050年を表す。

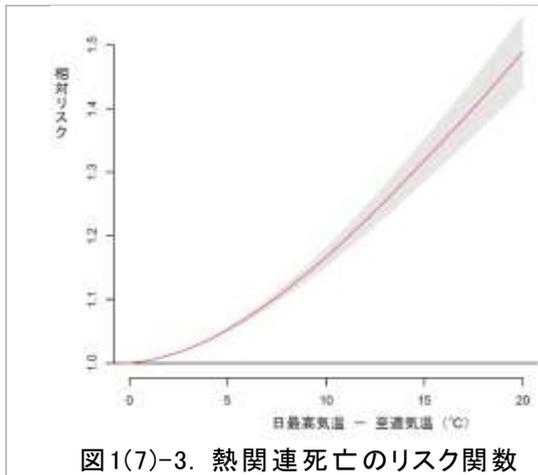


図1(7)-3. 熱関連死亡のリスク関数

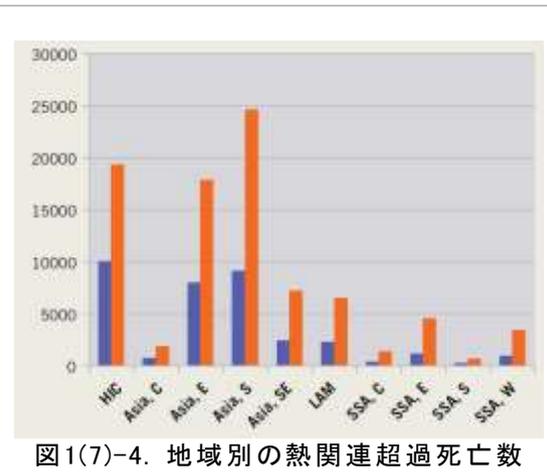


図1(7)-4. 地域別の熱関連超過死亡数

この図に用いられた地域の説明を以下に示す。先進国でもかなりの超過死亡がおこることが観察されているが、この点は影響のほとんどが発展途上国に限られる低栄養、下痢性疾患、マラリアといった他の主要な健康影響と大きく異なる点である。

Asia, C – Asia, central; Asia, E – Asia, east; Asia, S – Asia, south; Asia, SE – Asia, south-east; HIC, high-income countries (includes Asia Pacific, high income; Australasia; Europe, central; Europe, eastern; Europe, western; North America, high income; and Oceania); LAM – Latin America (includes Latin America, Andean; Latin America, central; Latin America, southern; Latin America, tropical; and Caribbean); SSA, C – sub-Saharan Africa, central; SSA, E – sub-Saharan Africa, eastern; SSA, S – sub-Saharan Africa, southern; SSA, W – sub-Saharan Africa, western. Estimates for North Africa/Middle East are not included.

(2) 熱波警報対策システムの構築及びその有効性と経済性の評価

各市町村においては、イベントなどでの注意喚起は行われていたが、個別な介入は少なかった。また、効果の影響を評価している市町村も少なく、経済評価を行っている市町村は皆無であった。

高齢者のいる世帯のエアコン設置率は、世帯で見ると関東以南では90%を超える。しかし就寝中の部屋の設置率は7割前後である。高齢者の熱中症発生は夜間にもかなりの割合で発生していることを考えると問題である。

介入調査の結果、五島市では介入によってより高い割合の住民で行動変容が起こった。しかしながら、熱中症予防介入の費用と効果を分析すると、図1(7)-5(左:増分費用効果比、右:1死亡回避費用)のようになった。増分費用効果比は、費用対効果判断のための閾値(500万円/年)を大きく上回り、介入の普及は費用対効果に優れないことが示唆された。さらに、1死亡回避費用の検討でも、熱中症死亡リスクの回避への支払意思額に基づく統計的生命価値(2億2,742万円)及び国土交通省の公共事業評価で用いられる値(2億2,607万円)と比較すると、大きく上回った。

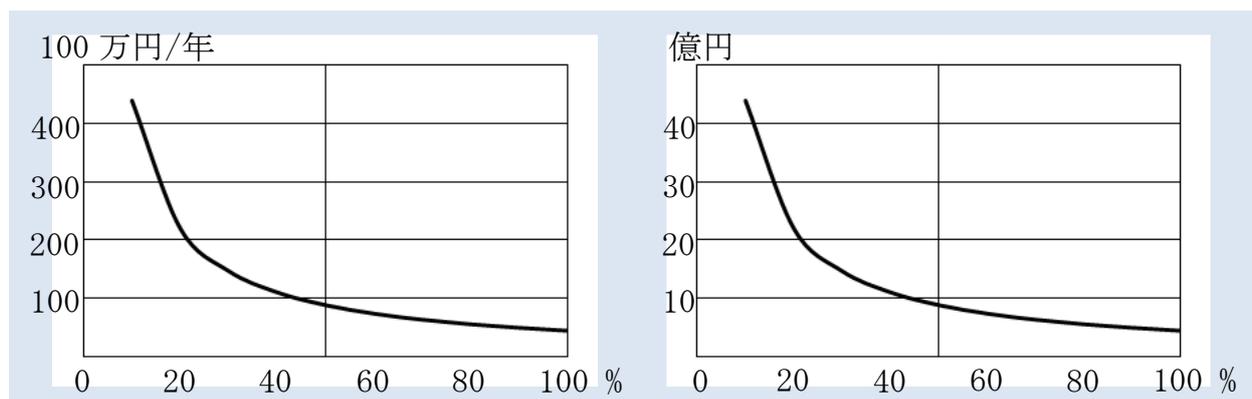


図1(7)-5. 五島市における介入の費用効果分析結果。注:横軸は超過死亡のうち介入で予防できた割合を示す。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

S-4で得られていた、それぞれの地域の日最高気温の84パーセンタイル値で至適気温が近似できるという理論は、日本の47都道府県の知見に基づくものであったが、それがアジアの韓国、台湾のみならず、ヨーロッパ、北米においても成り立つことが確認された。このことにより、全球を対象として、大循環モデルを用いて将来の気温分布がわかれば熱関連死亡の将来予測が可能となった。また、熱の影響は、高気温の日のみでなく、翌日以降にも及ぶが、その影響も取り入れた、非線形回帰モデルによって、精緻な影響予測が可能となった。

これまでにわが国では行われてこなかった、地域集団を対象とした費用効果分析を含む熱中症予防介入調査を始めて実施した。その結果、ペットボトル送付などの介入により対処行動を起こさせる効果があることは明らかにしたものの、費用対効果で考えると問題があることが判明した。

(2) 環境政策への貢献

環境省の日本における気候変動による影響に関する評価報告書において、本研究成果である熱関連死亡モデルの試算結果が用いられた。地方自治体においても、簡易に将来推計できるシステムがS-8によって構築されたことから、長野県の気候変動影響評価においても、本研究成果である熱関連死亡モデルが用いられた。

介入研究に関しては、それ自体が地方自治体の環境政策の一つと考えられる。五島市、三郷市での調査実施後、研究成果の報告に伺い、市の保健担当職員の方々との意見交換を行った。これにより、両市の今後の対策に役立てていただくことが期待される。

<行政が既に活用した成果>

介入研究は、それ自体が地方自治体の環境政策の一つと考えられる。五島市、三郷市での調査実施後、研究成果の報告に伺い、市の保健担当職員の方々との意見交換を行った。これにより、両市の今後の対策に役立てていただくことが期待される。

<行政が活用することが見込まれる成果>

現在、世界的に見ても、全球を対象にして熱関連死亡の将来予測が可能なモデルは他にないため、本研究成果である熱関連死亡モデルが、EUやOECDでも用いられ、近いうちに公表予定である。これらを通じて、COPなどにも影響が及ぶものと考えられる。

長崎県からも本研究成果を用いた将来予測が行われ、近いうちに公表予定である。介入研究では、経済的な評価も組み込んでいた。自治体が同様の介入を行う際に、単に介入を行うのみでなく、その経済的な側面も評価できることから、この介入方法が地方自治体に利用されることが見込まれる。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) M. KONDO, Y. HONDA and M. ONO: Environ Health Prev Med 16,5,279-80 (2011).
"Growing concern about heatstroke this summer in Japan after Fukushima nuclear disaster."
- 2) K. SUGIMOTO, V LIKHVAR, I OKUBO, I JIN and Y. HONDA: Japanese Journal of Health and Human Ecology 78,1, 16-26 (2012).
"Analysis of relation between temperature and mortality in three cities in China by using lag model: A comparison of Harbin, Nanjing and Guangzhou."
- 3) Y. HONDA, M. KONDO, G. MCGREGOR, H. KIM, Y. GUO, Y. HIJIOKA, M. YOSHIKAWA, K. OKA, S. TAKANO, S. HALES and RS. KOVATS: Environmental Health and Preventive Medicine 19,1,56-63 (2014).
"Heat-related mortality risk model for climate change impact projection."
- 4) M. KAYABA, T. IHARA, H. KUSAKA, S. IIZUKA, K. MIYAMOTO and Y. HONDA: Sleep Medicine 15,5,556-564 (2014).
"Association between sleep and residential environments in the summertime in Japan."
- 5) N. TAKAHASHI, R. NAKAO, K. UEDA, M. ONO, M. KONDO, Y. HONDA and M. HASHIZUME: Int. J. Environ. Res. Public Health 12,3, 3188-3214 (2015).
"Community Trial on Heat Related-Illness Prevention Behaviors and Knowledge for the Elderly."
- 6) A. GASPARRINI, M. HASHIZUME, E. LAVIGNE, A. ZANOBETTI, J. SCHWARTZ, A. TOBIAS, S. TONG, J. ROCKLÖV, B. FORSBERG, M. LEONE, M. DE SARIO, ML. BELL, Y. GUO, C. WU, H. KAN, S. YI, M.

COELHO, PH. SALDIVA, Y. HONDA, H. KIM and B. ARMSTRONG: The Lancet (2015).

"Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multi-country study." (in press, S-8謝辞あり)

- 7) A. GASPARRINI, Y. GUO, M. HASHIZUME, P. KINNEY, EP. PETKOVA, E. LAVIGNE, A. ZANOBETTI, J. SCHWARTZ, A. TOBIAS, M. LEONE, S. TONG, Y. HONDA, H. KIM and B. ARMSTRONG: Environmental Health Perspectives (2015).

"Temporal Variation in Heat-Mortality Associations: A Multi-Country Study." (in press, S-8謝辞あり)

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) Y. HONDA: International Workshop on Urban Climate Projection for Better Adaptation Plan, Tsukuba, Japan, 2010. (Invited Speech)

"Climate change and human health: A model based on Asian experience."

- 2) Y. HONDA: Twenty-second Meeting of International Society for Environmental Epidemiology, Seoul, Korea, 2010.

"Adaptation to climate change at population level in Japan."

- 3) Y. HONDA: Second Regional Consultation Meeting on Economics of Climate Change and Low Carbon Growth Strategies in Northeast Asia, Ulaanbaatar, Mongolia, 2010. (Held by Asian Development Bank, invited speech)

"Regional Assessment and Future Climate Change Impact on Health."

- 4) Y. HONDA, K. SUGIMOTO, K. UEDA, M. ONO: Twenty-third Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Barcelona, Spain, 2011.

"Influenza epidemic and meteorological factors in 47 prefectures in Japan."

- 5) Y. HONDA, M. ONO: Nineteenth International Congress of biometeorology, Auckland, New Zealand, 2011.

"Relation between ambient temperature and mortality among children in Tokyo, Japan."

- 6) Y. HONDA, K. SUGIMOTO, K. NAKAZAWA, Y. GUO, H. KIM: Twenty fourth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Columbia, USA, 2012.

"Seasonal Trend of Mortality and Influenza Epidemic in Tokyo."

- 7) 古尾谷法子, 橋爪真弘, 中尾理恵子, 上田佳代, 近藤正英, 小野雅司, 本田靖: 第71回日本公衆衛生学会(2012)

「長崎県五島市における熱中症予防ランダム化地域比較介入研究」

- 8) Y. HONDA, M. KONDO, E. MINAKUCHI, M. KAYABA, K. NAKAZAWA, K. SUGIMOTO, Y. KIM, H. KIM, Y. GUO, M. HASHIZUME: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, August, 2013.

"Effect of absolute humidity on heat-mortality relation in Japan."

- 9) Y. HONDA, M. HASHIZUME, H. KIM, H. KAN, Y. GUO, K. UEDA, M. BELL: Twenty-sixth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Seattle, USA, 2014.

"Relation of external causes with temperature and climate."

- 10) 萱場桃子, 近藤正英, 本田靖: 第84回日本衛生学会総会(2014)

「埼玉県A市における高齢者の熱中症予防に向けた介入の試み 第一報」

- 11) 本田靖: 第79回日本民族衛生学会総会(2014)(学会長講演)

「地球温暖化の健康影響」

7. 研究者略歴

課題代表者: 本田 靖

東京大学医学部卒業、博士(医学)、現在、筑波大学体育系教授

研究分担者

- 1) 近藤 正英

東京大学医学部卒業、現在、筑波大学医学医療系准教授

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(7) 温暖化の健康影響-評価法の精緻化と対応策の構築-

① 温暖化死亡影響モデルの精緻化・簡易化

国立大学法人筑波大学

体育系

本田 靖

医学医療系

近藤正英

平成22(開始年度)～26年度累計予算額：41,370千円

ただし1-(7)全体で平成26年度に3,991千円返納

(うち、平成26年度予算額：返納前で6,886千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

地球温暖化による熱関連死亡は、欧州における2003年の熱波などで多くの犠牲者を出したことから示されるように、先進国においても大きな問題である。この熱関連死亡について、前研究であるS-4において、わが国47都道府県のデータを元に、その地域における気温分布に基づいて将来予測ができるモデルを開発した。しかし、全世界への適用可能性については不明であり、また影響も気温を大きく区分して平均的なリスクを用いており、精緻ではなかった。また、持ち越し効果(ある日の値高気温が次の日以降にも影響を与えること)も考慮していなかった。本研究では、distributed lag non-linear modelという、非線形に影響を推測するモデルを導入して持ち越し効果を組み込んだ上で、気温を連続変数としてリスクを推定することが可能となった。また、適用可能性に関しても、ヨーロッパ、北米、アジアの検討によって、少なくとも寒冷な地域から亜熱帯まではモデル適用が可能であることを示した。熱帯地域での適用可能性は依然強い証拠はないが、もともと気温分布の幅が小さいため、将来推計に与える影響は大きくないと考えられた。この精緻化したモデルによって、全球に適用可能なリスク関数(気温ごとにリスクを推定するもの)を構築した。このモデルは現時点で、全球に適用できる唯一のモデルとして、世界保健機関の温暖化の健康影響予測の一つとして報告書の一章として掲載され、現在はEUやOECDでもこのモデルに基づく予測が行われている。なお、死亡リスクが最低となる気温は、温暖な地域ほど高いが、温暖化によって、特別な政策的対応を行わなくても死亡リスクが最低となる気温が上昇することが明らかとなったため、この「自動的適応」についてもモデルに組み込み、この適応による影響の幅を検討した。一方で、上記リスク関数は、都道府県、あるいは市町村においても、簡単に将来の熱関連死亡の予測が可能となった。今後、地方自治体による独自の影響評価、行動計画の基礎資料作成に貢献できるものと考えられる。

[キーワード]

至適気温、熱関連死亡、持ち越し効果、distributed lag non-linear model、自動的適応

1. はじめに

地球温暖化による熱関連死亡は、近年わが国でも毎年のように夏になると報道されているし、欧州における2003年の熱波などで多くの犠牲者を出したことから示されるように、先進国においても大きな問題である。一方で、途上国では死亡統計が必ずしも精度よく収集されていないことなどから、その影響を評価することが困難であるという問題もある。

この熱関連死亡は、図1(7)①-1の斜線部分で表される。ある気温で死亡リスクが最低になることから、その気温（至適気温）を超えた時に、その最低の死亡リスクよりも高いリスクが観察されるので、そのリスクの差をもって超過死亡と考え、この超過死亡の部分を熱関連死亡と呼んでいる。

前研究であるS-4において、わが国47都道府県のデータを元に、その地域における気温分布に基づいて、この熱関連死亡の将来予測ができるモデルを開発した。すなわち、都道府県ごとの日最高気温と死亡リスクとの関連を曲線回帰すると、至適気温は概ねその都道府県の日最高気温の84パーセンタイル値となっていることから、至適気温を将来気候の日最高気温分布から推定できる、ということを発見した。しかし、韓国、台湾の数都市でもこの関係は成り立っていたものの、全世界への適用可能性については不明であり、また影響も図1(7)①-2に見られるように、気温を粗く区分して平均的なリスクを用いており、精緻ではなかった。また、持ち越し効果（ある日の値最高気温が次の日以降にも影響を与えること）も考慮していなかった。

これらの問題点を克服すべく、最新の知見を応用して、熱関連死亡の将来予測を精緻なものとする、また、精緻化はするものの、その結果を応用して自治体で将来予測をする場合にも簡単に用いることができるよう簡易化を行うことを本研究の目的とした。

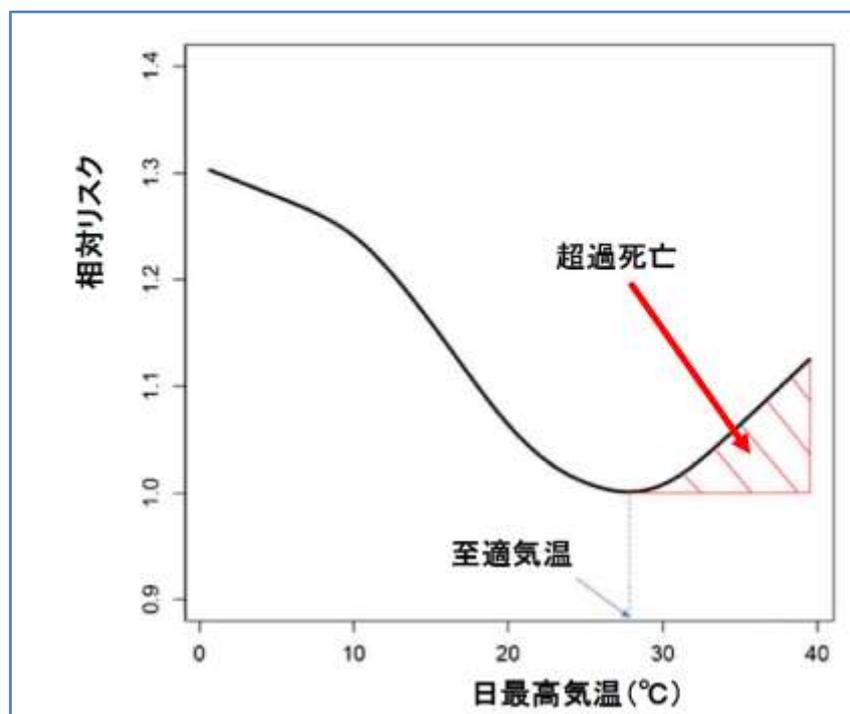


図1(7)①-1 熱関連死亡、すなわち暑熱による超過死亡の模式図

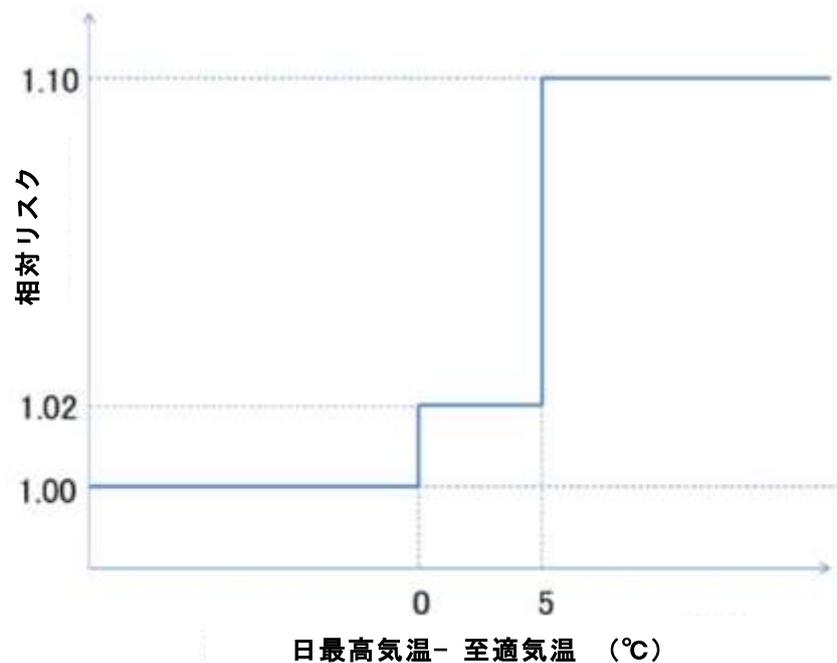


図 1(7)①-2 S-4 で用いられたリスク関数

2. 研究開発目的

本研究では、S-4で発見した理論が、多くの地域で実際に適用可能なのかを確認し、S-4の方法よりも精緻な方法によって全球を対象とした熱関連死亡の将来予測を行うことを目的とする。

3. 研究開発方法

詳細はHondaら（2014）[引用文献1]に発表した。要点を以下に述べる。

(1) S-4以前は不可能であった全球の熱関連死亡将来予測について、S-4によって日最高気温の84パーセンタイル値によって至適気温が推定できるという関連が、ヨーロッパ、北米でも認められるかを確認する。ヨーロッパの都市としてバルセロナ、パリ、ローマを用い、北米の都市としては、人口の多い20都市を選んだ（表1(7)①-1参照）。

(2) 持ち越し効果を組み込んだ上で非線形に影響を推測するモデル、distributed lag non-linear modelを導入して、気温を連続変数としてリスクを推定する（すなわちリスク関数を作成する）ことによって精緻化すると共に、多くの地域のデータを用いてその適用可能性を確認する。この予測モデルでは、S-4の時に行ったようなリスクの点推定のみでなく、95%信頼区間も同時に計算しているため、リスク関数の不確実性の評価も可能である。

また、S-4の理論によって上記至適気温と比較してリスクを評価する際に47都道府県のデータ（しかも約40年間という長期間）を用いることで統計的不確実性を大幅に縮小することを可能とした。

気温の影響とその持ち越し効果を2次元のマトリクスで推定するが、そのマトリクスをcrossbasisという言葉で表現すると、用いたモデルは以下で表される。

$$y_i \sim \text{crossbasis}\{T_{\max,i} - OT\}$$

ここで y_i は日レベルで表した時刻*i*におけるリスクで、quesi-Poisson分布に従うと仮定した。 $T_{\max,i}$ は時刻*i*における日最高気温、OTは至適気温である。持ち越し効果は15日までとした。非線形の関係を表すために、気温、持ち越し効果共に自由度6の3次の自然スプラインを用いた。途上国では、得られる変数が少ないため、このように非常に単純なモデルを用いた。

(3) リスク関数を用いて、IPCCの将来シナリオ、SRESのうちA1Bを用い、その人口、死亡数の将来予測と複数の大循環モデル（全球を対象とした将来気候の物理シミュレーションモデル）を用いて将来の熱関連死亡を予測した。なお、WHOのプロジェクトとして、同じ死亡を2種類計測することを防ぐため、このリスク推計は65歳以上に限って行った。

なお、通常死亡数の予測は年間死亡数として計算される。この年間死亡数から至適気温における死亡数を計算する必要がある。その作業は以下のように行った。

インフルエンザの影響が少ない、日最高気温が75パーセンタイル値から85パーセンタイル値に含まれる日の平均死亡数を基準とし、日別の死亡数をその基準で割ることで相対リスクを計算する。グラフから得られる至適気温における相対リスクを RM_{OT} 、観察期間の平均相対リスクを RM_{av} とすると、年間死亡数を年間の日数、365.25で割ると、日平均死亡数となるので、

$$\text{至適気温における死亡数} = \text{年間死亡数} / 365.25 * RM_{OT} / RM_{av}$$

という式から至適気温での死亡数が求められる。このときに用いた RM_{OT}/RM_{av} を死亡リスク比と呼ぶ。日本の47都道府県では、その平均が0.88、標準偏差が0.014であった。

表1(7)①-1に各都市の至適気温、日最高気温の84パーセンタイル値、死亡リスク比を示す。モデルの単純さから考えれば、至適気温は84パーセンタイル値によって十分な推定が可能であると考えられた。84パーセンタイル値が体温を超えるようなSan Bernardino、Phoenixでもこの推定が可能であったことは興味深い。死亡リスク比は、日本の平均値、0.88よりはやや高いものの、やはり近い値が得られているし、これら諸国の都市は全数調査でもないので、これらの平均よりはむしろ日本全体を用いた47都道府県の平均値を用いて将来推計に用いることにした。

将来の熱関連死亡数は、年間死亡数を365.25で割り、死亡リスク比を乗ずることで得られる。

将来影響の比較のために、1961-1990年の気候をベースラインとして設定した。準拠したのはClimate Research Unit, University of East Anglia, United Kingdom (CRU)によって補正されたUS National Centers for Environmental Prediction (NCEP) のデータ[引用文献2]、通称NCCデータと呼ばれるものである。大循環モデルとしては、BCM2、EGMAM1、EGMAM2、EGMAM3、IPCM4を用いてモデルによる不確実性の評価ができるようにした。

なお、将来の熱関連死亡として、SRES A1Bに従って気候が変化した場合の影響と、社会経済状況はSRES A1Bだが気候は現状のままという仮想現実における影響の両方を計算し、その差をもって「気候変動による影響」と定義した[引用文献3]。

表1(7)①-1 アジア、ヨーロッパ、北米の都市における至適気温、日最高気温の
84p*、死亡リスク比**(Hondaら(2014)より転載)

国	都市	至適気温	84p	死亡リスク比
Taiwan	Taipei	33.4	33.9	0.95
	Taichung	33.0	33.0	0.94
	Kaohsiung	31.2	32.5	0.96
Korea	Seoul	27.8	28.1	0.93
	Busan	28.7	26.6	0.93
	Daegu	29.9	29.5	0.93
	Incheon	27.5	26.9	0.94
	Gwangju	29.1	28.8	0.92
USA	Daejeon	29.6	28.4	0.91
	Los Angeles	30.0	28.3	0.95
	New York	26.7	28.3	0.92
	Chicago	26.1	27.8	0.94
	Dallas/Fort Worth ^b	37.2	34.4	0.93
	Houston ^b	41.7	33.9	0.93
	Phoenix	41.7	40.0	0.89
	Santa Ana/Anaheim	33.3	31.1	0.94
	San Diego ^b	41.7	24.4	0.95
	Miami	31.7	32.2	0.96
	Detroit	25.0	27.2	0.93
	Seattle	22.2	23.3	0.93
	San Bernardino	39.4	38.9	0.91
	San Jose	30.6	31.7	0.91
	Minneapolis/St. Paul	26.7	26.7	0.92
	Riverside	44.4	42.8	0.91
	Philadelphia	27.8	29.4	0.92
Atlanta	31.7	31.1	0.93	
Oakland	32.8	33.9	0.90	
Denver	33.3	32.2	0.92	
Cleveland	26.1	26.7	0.94	
Spain	Barcelona	27.9	29.4	0.88 ^a
France	Paris	22.8	23.6	0.92 ^a
Italy	Rome	25.0	26.8	0.89 ^a

注： * 84パーセンタイル値

**至適気温での死亡リスク/日平均リスク

a 対象は全年齢階級

b 最も高い日最高気温（高気温ほどリスクが低いという単調な関係が認められたた

め、経験された気温のうち、最低リスクを示す気温を用いた)。

(4) 将来の熱関連死亡に対して、大気汚染が影響を与えることが懸念されるため、物理気候モデルを用いたオゾン濃度の将来予測を行い、その影響を評価した。

まず、気象モデルの検証および将来予測として、2001年夏季(6~8月)の東日本域および西日本域を対象に気象モデルWRFを用いて気象シミュレーションを実施し、気象モデルの再現性を検証した。次に、大循環モデル(MIROC5、MRI-CGCM3、GFDL CM3、HadGEM2-ES)による将来予測結果を気象モデルに取り込み、東日本域および西日本域の温暖化後の気象場を推計した。

大気質モデルの検証および将来予測として、2001年夏季(6~8月)の東日本域および西日本域を対象に大気質モデルCMAQを用いて大気質シミュレーションを実施し、大気質モデルの再現性を検証した。次に、温暖化後の気象場を用い、将来の汚染物質の排出量の変化率を考慮して、東日本域および西日本域の将来のO₃濃度を推計した。将来の排出量は、RCP8.5およびRCP2.6シナリオに基づき、将来の排出量の変化率を検討した。その際、排出量現状維持と排出量変化の2種類の将来予測を行った。排出量現状維持ケースでは、温暖化の影響によるO₃濃度の変化を把握するために、人為起源の排出量を現状と同じに設定した。ただし、植物由来の揮発性有機化合物排出量は対象時刻の気温および日射量により標準排出量を補正するため、温暖化を考慮した場合、排出量現状維持ケースでも補正後の排出量は変化する。排出量変化ケースでは、将来の排出量変化を考慮するために、RCP8.5またはRCP2.6の実験期間の中間年付近(2090年)の排出量と2000年の排出量の比を用いて、現状の排出量を補正し、将来の排出量を推定した。東アジア域の排出量変化率算出にはRCPシナリオのAsiaの排出量変化を、日本周辺の排出量変化率算出にはRCPシナリオのOECD90の排出量変化を用いた。

4. 結果及び考察

図1(7)①-3に日最高気温が至適気温よりも15℃高い場合の持ち越しリスクを示す。ある日の高温の影響は、このように当日の影響が最大で、急激に減少する。

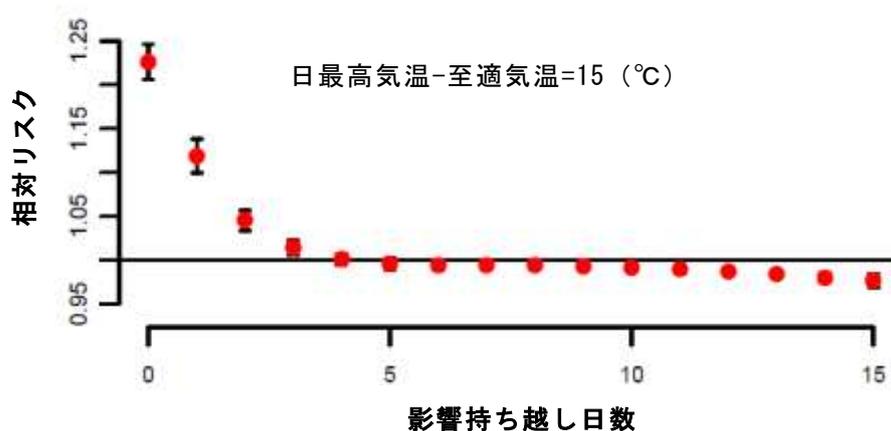


図1(7)①-3 持ち越し効果のリスク

今回、熱関連死亡の影響を評価するに当たっては、この持ち越し効果を合計してリスクを評価した。そのリスク関数を図1(7)①-4に示す。至適気温において死亡リスクが最低となるため、そ

のリスクを基準として、気温が至適気温よりも上昇した場合のリスクを示している。網掛け部分は95%信頼区間である。

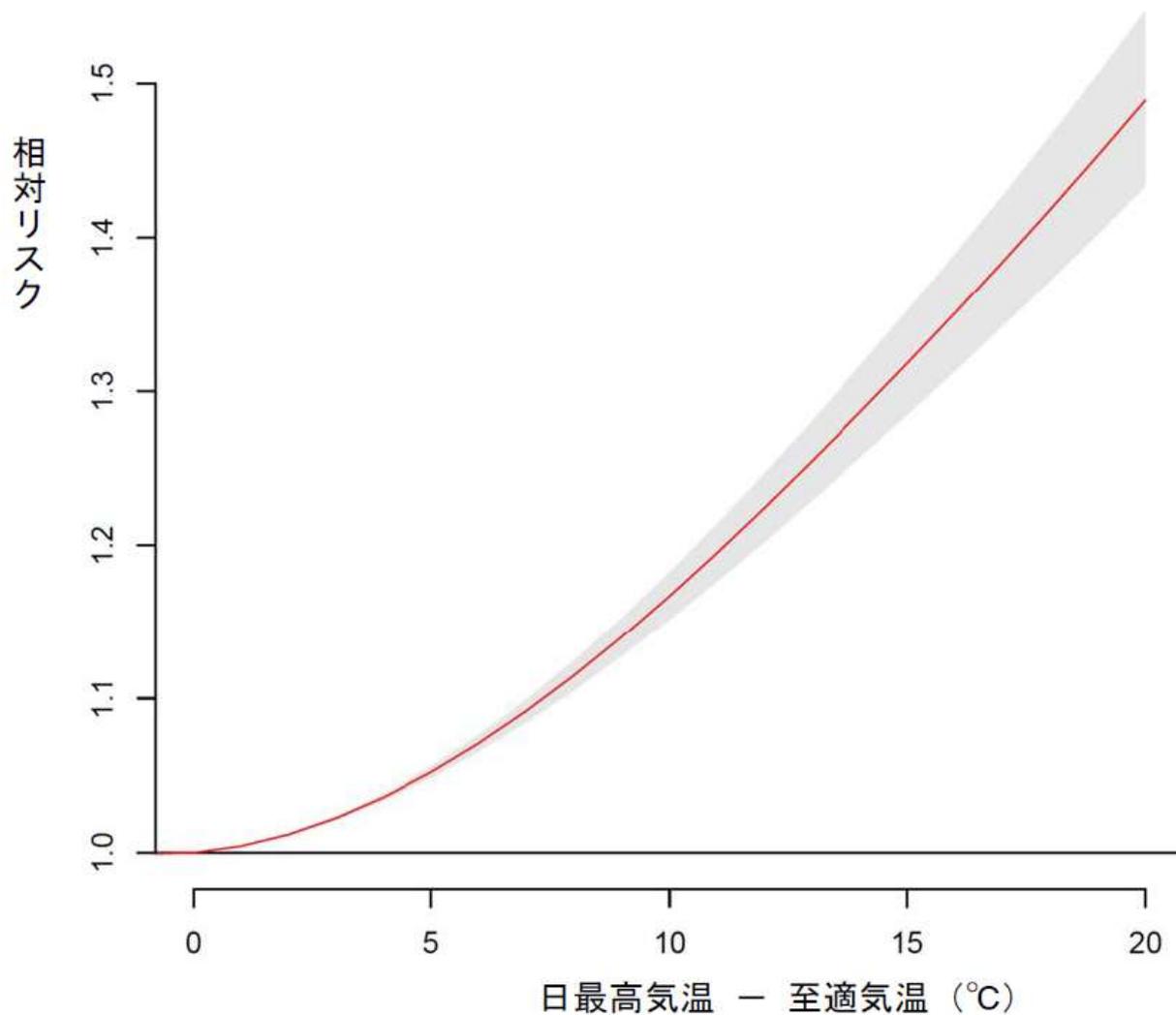


図1(7)①-4 熱関連死亡のリスク関数

このリスク関数を用いて将来予測を行った結果を、表(7)①-2に示したWHO region別に示したものが表(7)①-3である。これはBCM2の例であるが、他の大循環モデルを用いた場合でも、地域の相対的な影響は類似している。

表1(7)①-2 WHO regions

略号	WHO region名
AP_HI	Asia Pacific, High Income
As_C	Asia, Central
As_E	Asia, East
As_S	Asia, South
As_SE	Asia, Southeast
Au	Australasia
Ca	Caribbean
Eu_C	Europe, Central
Eu_E	Europe, Eastern
Eu_W	Europe, Western
LA_A	Latin America, Andean
LA_C	Latin America, Central
LA_S	Latin America, Southern
LA_T	Latin America, Tropical
NA_HI	North America, High Income
NA_ME	North Africa/Middle East
Oc	Oceania
SSA_C	Sub-Saharan Africa, Central
SSA_E	Sub-Saharan Africa, East
SSA_S	Sub-Saharan Africa, Southern
SSA_W	Sub-Saharan Africa, West

表1(7)①-3 BCM2、SRES A1Bでの気候変化による死亡数の増加

Region	2030		2050	
	0%	50%	0%	50%
Asia Pacific, high income	2375	1208	4339	1868
Asia, central	847	364	2850	1077
Asia, east	13 080	5710	29 689	11 562
Asia, south	15 974	7330	48 133	20 095
Asia, south-east	4269	1629	17 174	5883
Australasia	251	111	681	268
Caribbean	193	73	550	259
Europe, central	2135	967	4338	1940
Europe, eastern	4642	1939	8739	3114
Europe, western	2644	1152	8942	3908
Latin America, Andean	332	119	1689	477
Latin America, central	1481	540	6138	2137
Latin America, southern	690	303	1769	624
Latin America, tropical	1686	701	5983	1982
North America, high income	4986	2297	12 488	4923
North Africa/Middle East	3184	1381	12 122	4731
Oceania	44	11	187	60
Sub-Saharan Africa, central	717	281	3569	1207
Sub-Saharan Africa, eastern	2828	1064	13 055	4381
Sub-Saharan Africa, southern	384	163	1491	553
Sub-Saharan Africa, western	1716	712	7890	2887
World	64 458	28 055	191 816	73 936

注：50% adaptationとは、全く適応が起こらなかった場合（現時点での気温分布の84パーセンタイル値）と温暖化した気候における気温分布の84パーセンタイル値、すなわち100%適応の midpoint を至適気温とした場合を意味する。

上記WHO regionをまとめ、世界全体と先進国について、WHOのレポートにある他の健康影響と追加的死亡数を比較したものを図1(7)①-5に示す。このように、主要な健康影響のうち、低栄養、マラリア、下痢性疾患に関しては、先進国では問題とならないが、熱関連死亡は先進国でも大きな影響を及ぼすという意味で特殊であることが明らかとなった。なお、デング熱は死亡影響で見ると影響が小さい。しかし昨年以降わが国でも国内での感染例が発生し、そのために大きな社会的影響を被ったことを考えれば、影響が小さいとは考えられない。

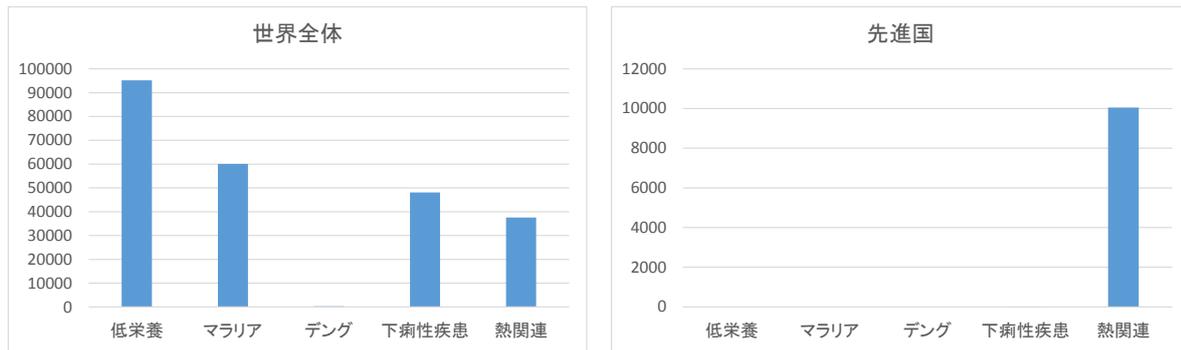


図1(7)①-5 原因別の気候変化による追加的死亡数

注：熱関連死亡以外はS-8の成果ではない。

地域での将来予測のために、簡易化したことでS-8の経済班などとも連携が円滑に進められた。ここでは一例として都道府県レベルの将来予測の結果を示す。図(7)①-6は、大循環モデルMRIとMIROCを用いた場合の熱関連死亡数である。

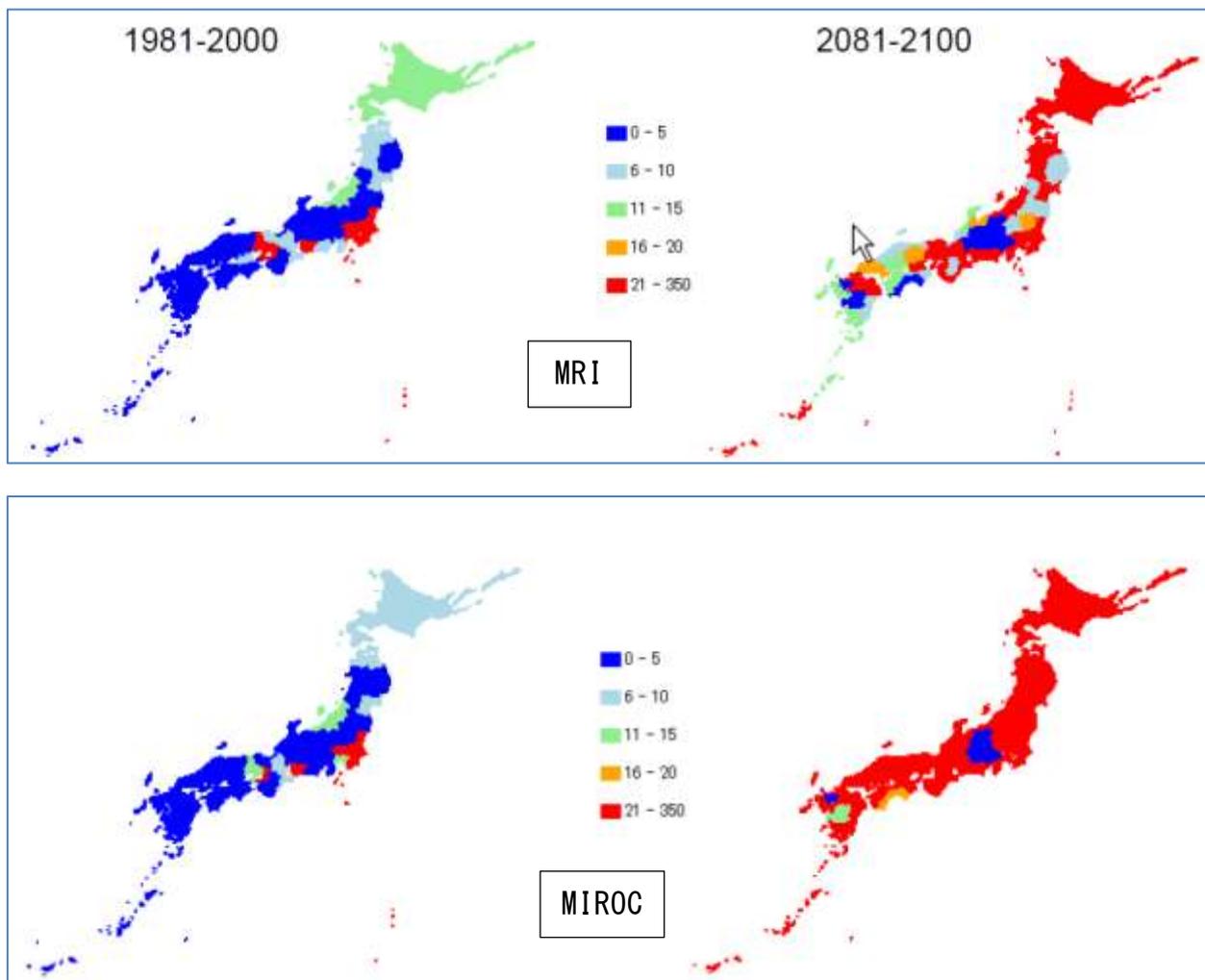


図1(7)①-6 熱関連死亡数の都道府県別将来予測

最後に、オゾン濃度の将来予測結果を図1(7)①-7、図1(7)①-8に示す。排出量が変わらないとした場合には、オゾン濃度がやや上昇する地域が認められるが、より現実に近い排出量変化モデルでは、日本全体でオゾン濃度は減少することが明らかとなった。S-8 開始時点では、気温の上昇と大気汚染の複合曝露による影響が懸念されたために詳細な将来予測の検討を行ったのであるが、ここで示されたように、日本においてオゾン濃度は減少することが考えられることに加え、熱関連影響と大気汚染の同時評価の場合、大気汚染の評価には熱の影響が大きいため熱を考慮しないとリスク推定が困難であるのに対し、熱関連評価に及ぼす大気汚染の影響は大きくないと考えられた。本研究においても、図1(7)①-9に示すように気温とオゾン濃度を組み込んだモデルを開発したが、オゾン影響の信頼区間が広いこともあり、基本的な将来影響は気温のみのモデルで行うことに決定した。

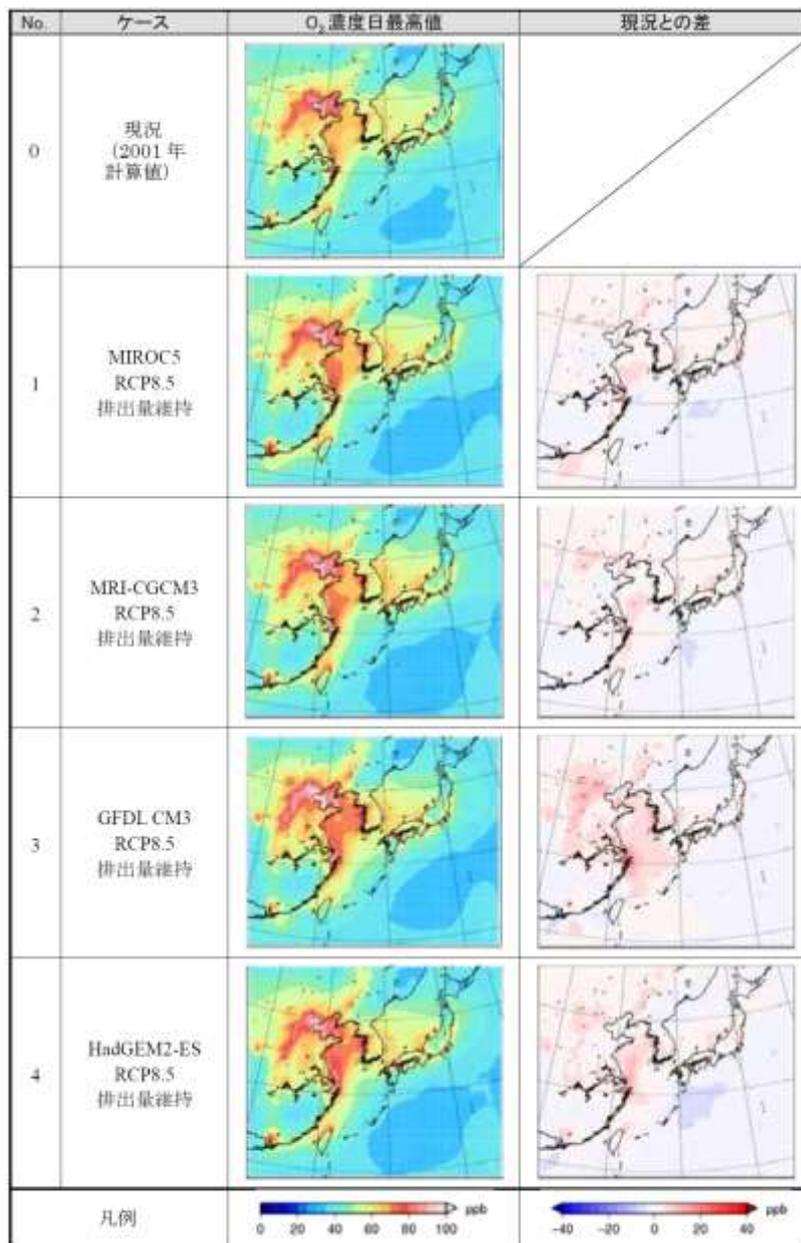


図1(7)①-7 夏季平均のオゾン濃度日最高値と現状との差（東アジア域、RCP8.5、排出量維持）

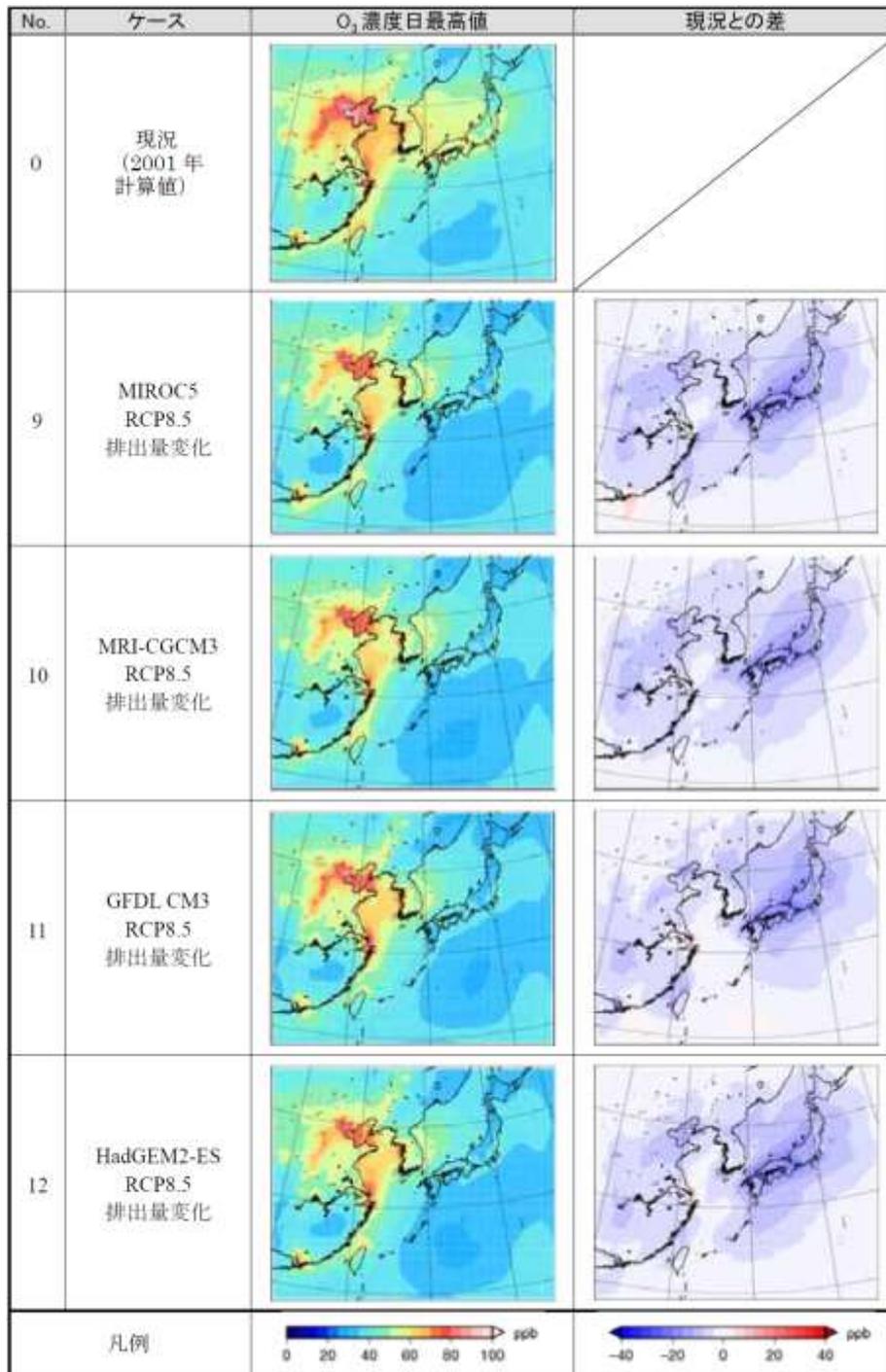


図1(7)①-8 夏季平均のオゾン濃度日最高値と現状との差（東アジア域、RCP8.5、排出量変化）

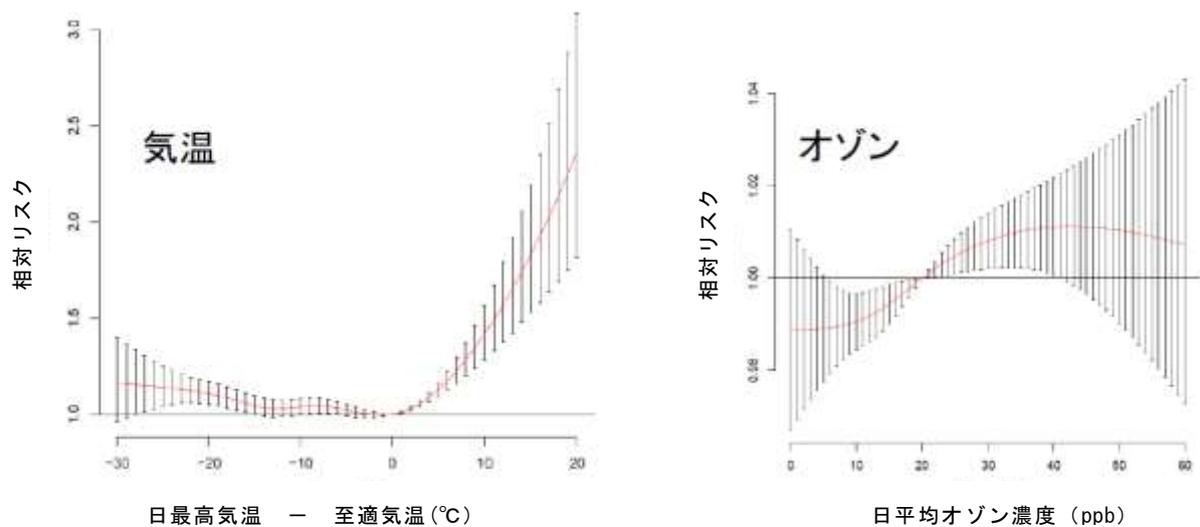


図1(7)①-9 気温とオゾンを同時評価した場合のリスク関数

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで、熱関連死亡を予測するために必要な至適気温について、気候によって異なることはわかっていたが、それがそれぞれの地域の日最高気温の84パーセンタイル値で近似できることをS-4で明らかにした。その関連は日本の47都道府県の知見に基づくものであったが、それがアジアの韓国、台湾のみならず、ヨーロッパ、北米においても成り立つことが確認された。このことにより、全球を対象として、大循環モデルを用いて将来の気温分布がわかれば熱関連死亡の将来予測が可能となった。

また、熱の影響は、高気温の日のみでなく、翌日以降にも及ぶが、その影響も取り入れた、非線形回帰モデルによって、精緻な影響予測が可能となった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の日本における気候変動による影響に関する評価報告書において、本研究成果である熱関連死亡モデルの試算結果が用いられた。

地方自治体においても、簡易に将来推計できるシステムがS-8によって構築されたことから、長野県における気候変動の影響評価においても、本研究成果である熱関連死亡モデルが用いられた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

現在、世界的に見ても、全球を対象にして熱関連死亡の将来予測が可能なモデルは他にないため、本研究成果である熱関連死亡モデルが、EUやOECDでも用いられ、近いうちに公表予定である。これらを通じて、COPなどにも影響が及ぶものと考えられる。

長崎県からも本研究成果を用いた将来予測が行われ、近いうちに公表予定である。

6. 国際共同研究等の状況

(1) 世界保健機関による気候変動の健康影響評価プロジェクト

成果にも内容を示したように、世界保健機関の報告書として公表されている。

URL:http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/134014/1/9789241507691_eng.pdf?ua=1

この報告書はWHOが主導し、数年間にわたる複数機関の共同研究の結果として発行されたものである。

2014年の報告書発行をもってこのプロジェクトは終了した。しかし、上記プロジェクトのリーダーの一人、London School of Hygiene and Tropical MedicineのDr. Sari Kovatsは、国立環境研究所の高橋潔主任研究員のグループともこのプロジェクトを通じて共同研究を開始しており、本田も含め、ヨーロッパで進行中のIMPRESSIONS

(<http://www.eci.ox.ac.uk/research/biodiversity/impressions.php>)というプロジェクトに研究成果を供給するなど、交流は続いている。

(2) Global Research Laboratory (GRL = 気候変動と大気汚染の健康影響に関する共同研究)

ソウル国立大学のHo Kim教授が代表研究者であり、日本からは筆者の本田が、台湾からは国立台湾大学のLeon Guo教授がカウンターパートとして参加している。グループメンバーとしては他にYale UniversityのMichelle Bell教授、中国Fudan UniversityのHaidong Kan教授が参加している。

(3) Multi-country collaborative study (=MCC)

London School of Hygiene and Tropical MedicineのDr. Antonio Gasparriniの主催するヨーロッパを主体とした気温と死亡との関連に関する共同研究グループがMCCである。

上記GRLとMCCグループとは、2013年頃からグループ同士の共同研究を開始した。このため、現在では合併した大共同研究グループが世界の研究をリードしている。この共同研究から、昨年度はEpidemiologyといった専門誌成果が掲載されたのみならず、以下の研究成果にもあるように一般医学誌のThe Lancetにも論文が受理された。発行は今後半年以内の予定である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) M. KONDO, Y. HONDA and M. ONO: Environ Health Prev Med 16,5,5279-280 (2011)
"Growing concern about heatstroke this summer in Japan after Fukushima nuclear disaster."
- 2) K. SUGIMOTO, V. LIKHVAR, I. OKUBO, I. JIN and Y. HONDA: Japanese Journal of Health and Human Ecology 78,1, 16-26 (2012)
"Analysis of relation between temperature and mortality in three cities in China by using lag model: A comparison of Harbin, Nanjing and Guangzhou."
- 3) Y. HONDA, M. KONDO, RS. KOVATS, S. HALES, H. KIM and Y. GUO: Impacts World 2013 Conference Proceedings, Potsdam, 275-281 (2013)
"Will the Global Warming Alleviate Cold-related Mortality?"

- 4) Y. HONDA, M. KONDO, G. MCGREGOR, H. KIM, Y. GUO, Y. HIJIOKA, M. YOSHIKAWA, K. OKA, S. TAKANO, S. HALES and RS. KOVATS: Environmental Health and Preventive Medicine 19, 1, 56-63 (2014)
"Heat-related mortality risk model for climate change impact projection."
- 5) A. GASPARRINI, M. HASHIZUME, E. LAVIGNE, A. ZANOBETTI, J. SCHWARTZ, A. TOBIAS, S. TONG, J. ROCKLÖV, B. FORSBERG, M. LEONE, M. DE SARIO, ML. BELL, Y. GUO, C. WU, H. KAN, S. YI, M. COELHO, PH. SALDIVA, Y. HONDA, H. KIM and B. ARMSTRONG: The Lancet (2015)
"Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multi-country study." (in press, S-8謝辞あり)
- 6) A. GASPARRINI, Y. GUO, M. HASHIZUME, P. KINNEY, EP. PETKOVA, E. LAVIGNE, A. ZANOBETTI, J. SCHWARTZ, A. TOBIAS, M. LEONE, S. TONG, Y. HONDA, H. KIM and B. ARMSTRONG: Environmental Health Perspectives (2015)
"Temporal Variation in Heat-Mortality Associations: A Multi-Country Study." (in press, S-8謝辞あり)

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) JD. FORD, L. BERRANG-FORD eds.: Climate Change Adaptation in Developed Nations - From Theory to Practice, Springer 189-204 (2011)
"Chapter 13. Adaptation to the heat-related health impact of climate change in Japan. (Authors: Y. HONDA, M. ONO and KL. EBI)"
- 2) 田中充, 白井信雄編: 気候変動に適応する社会、技報堂出版、120-123 (2013)
「第4章 4.3熱中症から身を守るまちづくり(執筆担当: 本田靖)」
- 3) CD BUTLER ed.: Climate Change and Global Health, CAB International, 54-64 (2014)
"Chapter 6. Climate Extremes, Disasters and Health. (Authors: Y. HONDA, T. OKI and S. KANAE)"
- 4) RS. KOVATS, S. HALES and S. LLOYD eds.: Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s, World Health Organization, 17-25 (2014)
"Chapter 2 Heat-related mortality (Authors: Y. HONDA, M. KONDO, G. MCGREGOR, H. KIM, Y. GUO, S. HALES and RS. KOVATS)"

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) Y. HONDA: International Workshop on Urban Climate Projection for Better Adaptation Plan, Tsukuba, Japan, 2010. (Invited Speech)
"Climate change and human health: A model based on Asian experience."
- 2) Y. HONDA: Twenty-second Meeting of International Society for Environmental Epidemiology, Seoul, Korea, 2010.
"Adaptation to climate change at population level in Japan."
- 3) 本田靖, 杉本和俊, 小野雅司: 第75回日本民族衛生学会総会 (2010)

- 「温暖化の健康影響 — 暑熱の直接影響による超過死亡推定の精度向上—」
- 4) 杉本 和俊, 本田靖: 第75回日本民族衛生学会総会 (2010)
「中国3都市における気温と死亡率のラグモデルを使用した解析—ハ爾濱 (Harbin), 南京 (Nanjing), 広州 (Guangzhou) での比較—」
 - 5) HONDA Y: Second Regional Consultation Meeting on Economics of Climate Change and Low Carbon Growth Strategies in Northeast Asia, Ulaanbaatar, Mongolia, 2010. (Held by Asian Development Bank, invited speech)
"Regional Assessment and Future Climate Change Impact on Health."
 - 6) Y. HONDA: Advanced Training Workshop on Southeast Asia Regional Health Impacts and Adaptation under Climate Change, Tainan, Taiwan, 2010. (Invited speech)
"Climate Change: Health-related extreme temperature issues and adaptation."
 - 7) Y. HONDA: BAMIS Satellite International Forum, Tsukuba, Japan, 2011 (Invited speech)
"Global warming and health problem."
 - 8) Y. HONDA: GRL International symposium on climate change and health, Seoul, Korea, 2011. (Designated speech)
"Method for projecting climate change impact due to direct heat effect."
 - 9) Y. HONDA: Climate Change and Health Forum, Seoul, Korea, 2011. (Invited speech)
"Ambient heat effect on health in Japan."
 - 10) 本田 靖: 日本ヒートアイランド学会第6回全国大会 (2011)
「2011年夏の電力危機に対するヒートアイランド研究の役割」
 - 11) Y. HONDA, K. SUGIMOTO, K. UEDA, M. ONO: Twenty-third Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Barcelona, Spain, 2011.
 - 12) "Influenza epidemic and meteorological factors in 47 prefectures in Japan."
 - 13) 本田 靖, 小野雅司, 杉本和俊, 水口恵美子, 萱場桃子, 近藤正英: 第76回日本民族衛生学会総会 (2011)
「東京における気温と死亡の関連について」
 - 14) Y. HONDA, M. ONO: Nineteenth International Congress of biometeorology, Auckland, New Zealand, 2011.
"Relation between ambient temperature and mortality among children in Tokyo, Japan."
 - 15) Y. HONDA: The 3rd Symposium for the Global Research Laboratory[GRL] Program of Korea, Seoul, Korea, 2012.
"Climate Change and Health."
 - 16) Y. HONDA: Perspectives in Environmental Health & Toxicology (Joint International Conference by KSOT and KSEH), Seoul, Korea, 2012.
"Climate change impact on health: New estimations."
 - 17) J. EUM, H. CHEONG, M. HA, H. KIM, J. PARK, Y. HONDA, K. INAPE: Twenty fourth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Columbia, USA, 2012.
"The Effect of Climate Variability on Diarrheal Illness in Papua New Guinea."
 - 18) Y. HONDA, K. SUGIMOTO, K. NAKAZAWA, Y. GUO, H. KIM: Twenty fourth Conference of the

- International Society for Environmental Epidemiology, Columbia, USA, 2012.
 "Seasonal Trend of Mortality and Influenza Epidemic in Tokyo."
- 19) Y. LIM, H. KIM, Y. HONDA, Y. GUO, B. CHEN: Twenty fourth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Columbia, USA, 2012.
 "Temperature Effects on Mortality in 15 Asian Cities."
- 20) C. KIM, Y. LIM, Y. HONDA, M. KIM, Y. YI, H. KIM: Twenty fourth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Columbia, USA, 2012.
 "Investigating Heat Effect in Temperature-Mortality Association Study -Attributable deaths in Seoul, South Korea 2000 to 2009."
- 21) Y. HONDA: Pacific Regional Climate Change and Health Symposium, Nadi, Fiji, 2012. (Invited speech)
 "The role of governments and the IPCC in managing climate change and health issues."
- 22) 本田 靖, 水口 恵美子, 萱場 桃子, 杉本 和俊, 中澤 浩一, 近藤 正英, 上田 佳代, 小野 雅司 : 第77回日本民族衛生学会総会 (2012)
 「2010 年における熱関連死亡」
- 23) Y. HONDA: GRL International Symposium, Seoul, Korea, 2013.
 "Projection of heat-related mortality."
- 24) Y. CHUNG, Y. LIM, Y. HONDA, Y. GUO, M. HASHIZUME, B. CHEN, H. KIM: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
 "Time-varying high temperature effects on mortality for 15 cities in East Asia."
- 25) Y. KIM, H. KIM, Y. HONDA, Y. GUO, B. CHEN, Y. LIM, N. KIM: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
 "Suicide and Ambient temperature in East Asia."
- 26) J. KIM, H. CHEONG, H. KIM, Y. HONDA, M. HA, M. HASHIZUME, K. INAPE: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
 "The Impact of Local and Oceanic Climate Variability on the Incidence of Childhood Pneumonia in Papua New Guinea."
- 27) Y. KIM, H. KIM, H. CHEONG, M. HASHIZUME, Y. HONDA, J. KIM, C. KIM, J. EUM, C. IMAI: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, August, 2013.
 "Comparative study of the relationship between regional climate factors and local weather in Western Pacific countries."
- 28) Y. HONDA, M. KONDO, E. MINAKUCHI, M. KAYABA, K. NAKAZAWA, K. SUGIMOTO, Y. KIM, H. KIM, Y. GUO, M. HASHIZUME: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
 "Effect of absolute humidity on heat-mortality relation in Japan."
- 29) Y. LIM, Y. HONDA, Y. GUO, B. CHEN, Y. HONG, S. YI, H. KIM, N. KIM: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.

- "Population adaptation to heat waves and cold spells in East Asia."
- 30) I. OHN, Y. YI, Y. LIM, Y. HONDA, Y. GUO, B. CHEN, H. KIM: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
"The effect of temperature change on mortality in 3 East Asian cities."
- 31) C. IMAI, M. HASHIZUME, H. CHEONG, H. KIM, Y. HONDA, J. EUM, C. KIM, J. KIM, Y. KIM, T. FENGTHONG: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
"The impacts of global and local climates on dengue fever in Lao PDR and Cambodia."
- 32) S. KIM, Y. LIM, Y. HONDA, M. HASHIZUME: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
"Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity meta-analysis study."
- 33) C. KIM, H. KIM, H. CHEONG, M. HASHIZUME, Y. HONDA, J. KIM, Y. KIM, J. EUM, C. IMAI, B. BADRAH: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
"Global climate change and waterborne diseases in Mongolia."
- 34) J. EUM, H. CHEONG, M. HA, H. KIM, Y. HONDA, M. HASHIZUME, J. KIM, C. KIM, Y. KIM, K. INAPE, C. IMAI: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, August, 2013.
"Impact of climate variability on the low birth weight in Papua New Guinea."
- 35) 本田 靖, 水口恵美子, 萱場桃子, 杉本和俊, 中澤浩一, 近藤正英, 上田佳代, 小野雅司: 第78回日本民族衛生学会総会 (2013)
「地球温暖化に伴う熱関連死亡の適応パターン – 平坦化型適応はおこっているか –」
- 36) Y. HONDA: JSPS-AASPP/GRENE Joint International Symposium on Water and Health in Urban Area, Hue City, Vietnam, (Invited speech)
"Climate change impact on health and its adaptation."
- 37) 本田 靖, 近藤正英, 橋爪真弘: 第84回日本衛生学会総会 (2014)
「呼吸器疾患死亡はインフルエンザ流行の代理変数となるか?」
- 38) Y. HONDA, M. HASHIZUME, H. KIM, H. KAN, Y. GUO, K. UEDA, M. BELL: Twenty-sixth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Seattle, USA, 2014.
"Relation of external causes with temperature and climate."
- 39) X. SEPOS0, Y. HONDA: Twenty-sixth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Seattle, USA, 2014.
"A Distributed Lag Non-Linear Time Series Analysis of the Relationship between Temperature and Mortality in the National Capital Region in the Philippines, 2006-2010"
- 40) 本田靖: 第79回日本民族衛生学会総会 (2014) (学会長講演)
「地球温暖化の健康影響」
- 41) 階堂武郎, 鈴木幸子, 本田靖, 本城綾子, 前倉亮治: 第79回日本民族衛生学会総会 (2014)
「呼吸器疾患患者の増悪およびQOL低下に関連する気象要因」

- 42) 本田靖：日本リスク研究学会第27回大会（2014）（招待講演）
「温暖化の健康リスク－世界保健機関の報告から」
- 43) 本田靖：土木学会第42回環境システムシンポジウム（2014）（招待講演）
「健康影響と適応策」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

本田靖．温暖化の健康影響について S-8-1(7)の成果．気候変動に関する対話シンポジウム 将来の安全・安心な社会をめざして 第二部分科会③気候変動と自治体：地方自治体は気候変動にどう対応できるのか？ 東京，10月，2011．（パネリストとして発表）

（5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（6）その他

2012年日本民族衛生学会最優秀論文賞を以下の論文が受賞した。

Sugimoto K, Likhvar V, Okubo I, Jin I, Honda Y. Analysis of relation between temperature and mortality in three cities in China by using lag model: A comparison of Harbin, Nanjing and Guangzhou. Japanese Journal of Health and Human Ecology, 78(1); 16-26: 2012.

8. 引用文献

- 1) Y. HONDA, M. KONDO, G. MCGREGOR, H. KIM, Y. GUO, Y. HIJIOKA, M. YOSHIKAWA, K. OKA, S. TAKANO, S. HALES and RS. KOVATS: Environmental Health and Preventive Medicine 19, 1, 56-63 (2014)
"Heat-related mortality risk model for climate change impact projection."
- 2) T. NGO-DUC: Journal of Geophysical Research, 110, D06116 (2005)
"A 53-year forcing data set for land surface models."
- 3) RS. KOVATS, S. HALES, S. LLOYD eds.: Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s, World Health Organization, 17-25 (2014)
"Chapter 2 Heat-related mortality. (Authors: Y. HONDA, M. KONDO, G. MCGREGOR, H. KIM, Y. GUO, S. HALES and RS. KOVATS)"

S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

(7) 温暖化の健康影響-評価法の精緻化と対応策の構築-

② 熱波警報対策システムの構築及びその有効性と経済性の評価

国立大学法人筑波大学

医学医療系

近藤正英

体育系

本田 靖

平成22(開始年度)～26年度累計予算額：56,186千円

ただし1-(7)全体で平成26年度に3,991千円返納

(うち、平成26年度予算額：返納前で10,173千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

近年、テレビでも新聞でも熱中症対策について取り上げられてはいるものの、やはり夏になるたびに熱中症が大きく取り上げられている。この状況を改善するため、現状把握のために通常脆弱集団と考えられている65歳以上の高齢者に対して、冷房器具の設置など現状に関する調査を行った。その結果、関東以南では世帯のエアコン普及率が9割以上であるとはいえ、寝室にはエアコンのない世帯も3割近くあるため、注意が必要であることが明らかとなった。また、市町村を対象とした熱中症対策に関する調査では、個別の対応ではなく、イベントや広報誌など、集団を一括した注意喚起が大半であること、経済評価は全く行われていないことが明らかとなった。これらの点も踏まえ、従来の熱中症対策の問題点は、以下の3点であると考えられた。(1) ターゲットが絞られていない、(2) 気象予報は測候所のある場所に対して行われるため、その地域には、必ずその気温よりも高い世帯と低い世帯が存在するため、警報を発令する気温を何度にも設定しても偽陰性と偽陽性が生じてしまう、(3) 知識が行動変容に結びついていない、(4) 対策は取っているものの、政策に必要な経済的な観点がかけている。これらの問題点を克服すべく新たな熱波警報システムを構築した。すなわち、対象は医療を受けていない高齢者とすること、測候所の気温を用いることによる偽陽性と偽陰性を防ぐため、各世帯で気温を測定し、その気温に従って行動すること、飲水は過度にならない程度に気温にかかわらず習慣化することを徹底する。そのシステムを組み込んだ介入研究を長崎県五島市と埼玉県三郷市で行い、その効果を行動変容によって評価した。五島市においては対象地区を3区分し、温度計と水のペットボトルを送付するという介入を行い、行動変容が認められた。しかしながら費用効果的には優れないことが判明したので、中でも脆弱な集団に対象を絞るなどの対策が必要であると考えられた。

[キーワード]

熱波警報システム、脆弱集団、行動変容、費用効果分析

1. はじめに

地球温暖化によって気温の高い日が増加すると予測されている。前プロジェクト、S-4では健康影響が起こるような高気温の日に、その情報を伝えることで被害を防ぐために熱波情報システムを構築し、いくつかの地方自治体で住民に熱波の情報を提供することが可能となった。しかしながら、それでも毎年のように熱中症患者多発がニュースで報道されている。この原因としては、情報が届いていない、あるいは届いても行動変容に結びついていない、ということが考えられる。まず、対象集団で考えると、熱波の影響を受けて熱中症を発症したり死亡したりする脆弱な集団としては高齢者が最も多い。高齢者は、パソコンや携帯電話、スマートフォンなどのデジタル機器を使えないことも多く、認知障害のために対応が取れないこともある。よって、熱波対策の情報が脆弱集団である高齢者に届き、行動変容を起こさせるような熱波警報システムを構築することが必要となる。また、熱波警報システムの有効性評価も必要である。このような問題意識から、高齢者に情報が届き、行動変容が起きるような熱波警報システムの構築およびその有効性評価を目的として本研究を開始した。

2. 研究開発目的

脆弱集団である高齢者の熱中症を防ぐことが可能な介入方法を開発し、実際に地域の集団でその費用効果分析を行うことを目的とする。

3. 研究開発方法

(1) 高齢者の暑熱環境調査

2010年に、大都市圏として東京23区、地方都市として札幌市、仙台市、さいたま市、千葉市、神戸市、北九州市、長崎市において65歳以上高齢者の居住環境、特に冷房機器の設置状況及び使用状況をウェブ調査した。その後、2011年3月に福島第一原子力発電所事故が発生し、節電対策が冷房装置使用の行動に影響を与えたことが推測されたため、2011年夏の冷房装置使用状況を、上記の集団について追跡調査した。

(2) 市区町村における熱中症対策の全国実態調査

2012年1月に全国の1742市区町村を対象に熱中症対策の実態調査を郵送法にて行った。2009年から2011年に行った対策や2012年に予定している対策について尋ねた。

(3) 五島市介入調査

最初に、次の三郷市介入調査も含めた共通の熱波警報システムについて概説する。

上記2種類の調査で、脆弱集団である高齢者の実態および対策の問題点が明らかとなった中で、まずは対象集団の設定を行った。一般の人口集団は図1(7)②-1に示すように、S-4で構築された熱波情報システムを含む環境省からの情報、通常のマスコミからの情報を活用して、自力で対応できる群と、自力対応はできないが、医療を受けているために、医療スタッフによる対応が期待できる群では、介入の意義は大きくない。残りの、医療を受けていないが情報がうまく受け取れていない、あるいは情報は入っていても行動に結びつかない高齢者が対象となる。この定義では、脆弱高齢者の生理機能は、若年者よりも衰えているとはいえ、異常でないことが期待できる。すなわち、心肺機能、腎機能のレベルとして、水中毒を起こすような大量の飲水をしない限り、大きな問題が無いことが期待できる。

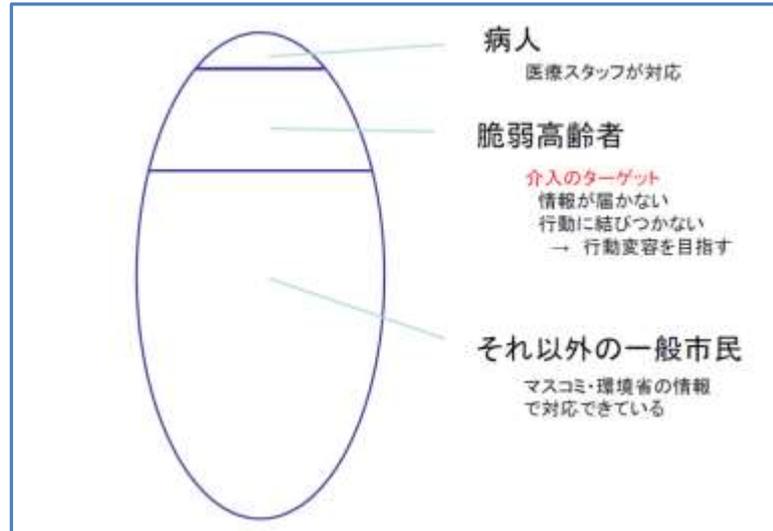


図1(7)②-1. 一般集団の内訳シエーマ

次は、介入の内容である。従来の熱波警報システムの問題点は、気象予測を測候所のある地点に対して行うために、システムに含まれる地域の住民にとってみると、図1(7)②-2、1(7)②-3に示すように、false positive(偽陽性)、false negative(偽陰性)が生じてしまうことである。

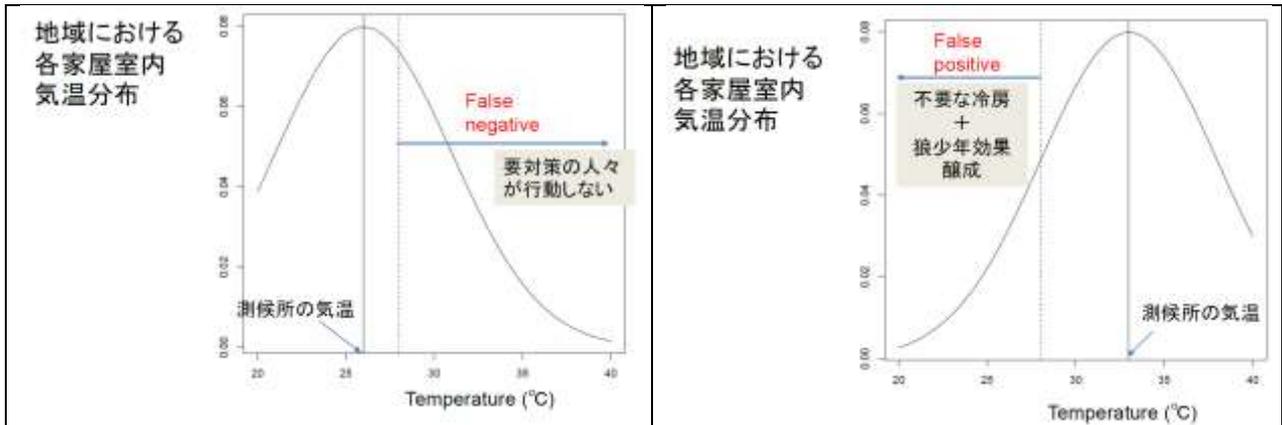


図1(7)②-2. 測候所の気温と地域家屋の気温分布との関係。

この問題を解決するために、本研究における介入では、各家屋の気温測定が可能な温度計（あるいは湿球黒球温度を推定できる熱中症指数計）を配布し、各自の室内音に基づく判断を行うことで偽陰性、偽陽性を減少させることとした。また、上に説明したように、対象集団は通常やや多い程度の飲水では問題を起こさないため、false positiveによる飲水は問題にならない。このことから、水中毒にならないレベルの目安としてタンブラーを配布し、気温にかかわらずこまめに飲水することを推奨した。高齢者で懸念される認知障害に関しても、伝えるメッセージを夏の間常にこまめに水を飲むこと、部屋の温度計を確認して適切な冷房を行うことの二つに絞り、持続的な実行を容易にした。

ここからは五島市における介入研究の経済評価に関する説明を行う。ランダム化地域比較介入

研究に費やされた人材、財・サービスの資源量を特定する。介入研究では3地域を介入群A、介入群B、対照群として比較をしているため、特定した資源量から、2つの介入を他市区町村へ普及する際に伴うと考えられる資源量を推量する。そして、資源量を機会費用の観点から貨幣価値換算する。さらに、普及先として想定する市区町村の人口などの外形を標準化した形で結果を提示する。なお、介入調査の概要を図1(7)②-3に示した。

【介入】		
研究デザイン： ランダム化地域比較介入試験 (3か月間)	研究場所： 長崎県五島市	介入期間： 2012年6月～9月
対象者： 福江島に在住する65歳から84歳までの高齢者1,524人 (各群508人を住民基本台帳から無作為)		
介入内容：		
介入群A (三井楽・玉之浦)		
①E-むらネット(光回線を用いた音声告知端末)により各家庭に熱中症の注意喚起を放送する。②環境省が作成している熱中症予防に関するパンフレットの配布。		
介入群B (富江・岐宿)		
①E-むらネット(光回線を用いた音声告知端末)により各家庭に熱中症の注意喚起を放送する。②環境省が作成している熱中症予防に関するパンフレットの配布。③宅配業者により500mLのペットボトル水2本に熱中症に関するメッセージをつけて配布する(5週間)④冷えたタオルの配布		
対照群 (福江)		
熱中症の注意喚起は、以下の気象条件が満たされた時、五島市役所よりE-むらネットを通じて放送された。		
1. 当日の黒球湿球温度(WBGT)が28℃以上と予想された時		
2. 気象庁により当日の最高気温が31℃以上になると予想された時		

図1(7)②-3 介入調査の概要。

(4) 三郷市介入調査

NPO法人ほっとサロンいきいきに依頼して、124世帯への介入調査を行った。対象者を7月介入群と8月介入群に分け、介入群には自宅における熱中症指数(=湿球黒球温度推定値)に基づいて対処行動をとること、タンブラーを用いて水をこまめに摂取することを呼びかけた。日誌は一週間分を一冊にまとめ、配布と回収のために担当ボランティアが週に1度自宅を訪問した。対象者には、調査前に対象者用調査票、また6月、7月、8月の3回、世帯用調査票を配布した。また、質問票での冷房機器の使用状況の確認のため、室内に温度計を設置して気温の連続測定も行った。

4. 結果及び考察

(1) 高齢者の暑熱環境調査

2010年の調査において、回答者数は大都市3,410名、地方都市3,107名(うち男では回答者本人

が65歳以上の割合が東京で46%、地方都市で36%、女では東京で28%、地方都市で14%)であった。起きて活動している時に過ごす部屋にエアコンが設置されている割合は、札幌市が非常に低く18%、ついで仙台市が73%で、他の都市は9割前後であった。しかしながら、表1(7)②-1に示すように、寝室への設置は、札幌市ではわずか3.4%にすぎず、仙台市でも36%程度であった。他の都市でもせいぜい6,7割であった。また、せっかく寝室にエアコンを設置してあっても、1割以上の世帯で就寝時にエアコンを使用しないことが明らかとなった。2011年には、2010年と比べて夏季にエアコンを常に使用する者が減少し、部屋に設置されていても使用しない者が増加した。

以上のことから、関東以南では90%以上の世帯でエアコンが設置されているものの、高齢者の熱中症発生が多いと考えられる夜間に関しては、寝室への設置がせいぜい7割であることから、高気温になった場合の高リスク集団はかなり大きいと言わざるを得ない。今後、脆弱集団を中心に、寝室への設置を推進する必要があるものと考えられる。

表1(7)②-1. 都市別のエアコン設置状況

	対象者数	エアコン覚醒時 (%)	エアコン就寝時 (%)
札幌市	620	111 (17.9)	21 (3.4)
仙台市	335	244 (72.8)	120 (35.8)
さいたま市	368	333 (90.5)	264 (71.7)
千葉市	282	253 (89.7)	184 (65.2)
神戸市	460	399 (86.7)	320 (69.6)
北九州市	181	158 (87.3)	116 (64.1)
長崎市	94	83 (88.3)	61 (64.9)

(2) 市区町村における熱中症対策の全国実態調査

629市区町村から回答を得て回収率は36.1%であった。

過去3年間の実績では熱中症対策を行った自治体の割合が44.9%から85.3%へ増加していたが、2012年の予定は2011年の実績より小さく54.2%となっていた。

自治体の対策実施に影響を及ぼした可能性のある要因について影響の有無を尋ねた結果、2010年の夏季に自治体が調査を強いられた年金の不正受給に係わるいわゆる「消えた高齢者」問題の影響はほとんどみられなかったが、2011年の東日本大震災に関しては約16%の自治体で影響があったとの回答があった。

対象者の年次推移に関しては図1(7)②-4に見られるように、半数以上が全市民対象であり、脆弱集団である高齢者対象のものは12%にとどまって、増加の傾向も認められなかった。

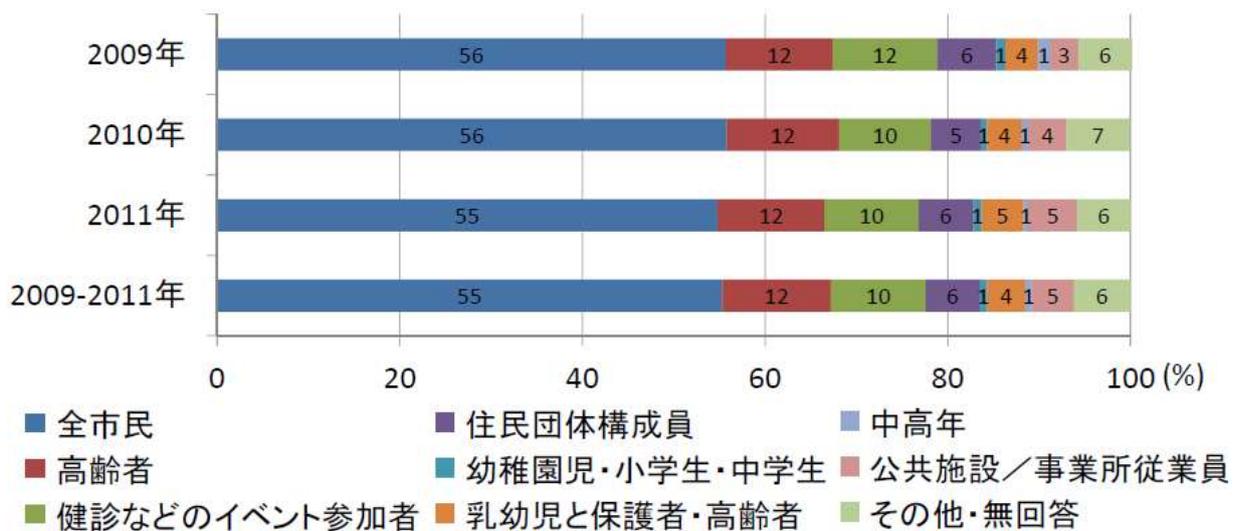


図1(7)②-4. 対策対象者の年次推移

対策の内容としても、配付資料、イベント、放送などのメディアによる注意喚起が多く、訪問やグッズの配布など、実際の介入などは非常に少なかった。

対策の効果として、熱中症の搬送数が減少した、熱中症への意識が高まった、といった回答も見られたが、大半は効果の評価を行っていない。費用対効果をみたものは皆無であった。

(3) 五島市介入調査

五島市での研究参加者が、どのようにして熱中症関連の情報を収集しているかを図1(7)②-5に示す。やはりテレビが情報収集源としては圧倒的に大きな割合を占めるが、e-むらネットも20%程度と大きな割合となっている。それに対し、インターネットを使用する高齢者は五島市ではまだまだ少数派のようである。このような地域においては、ウェブサイトなどのインターネット情報はほとんど役に立たないことが明らかとなった。

介入によって起こった行動変容の例として、エアコンの使用時間の推移を図1(7)②-6に示す。このように、対照群においても若干の行動変容は認められ、これは通常の暑さへの対応やマスメディアなどからの情報によって起こったものと考えられる。介入群は、それ以上に行動変容が起こっている。

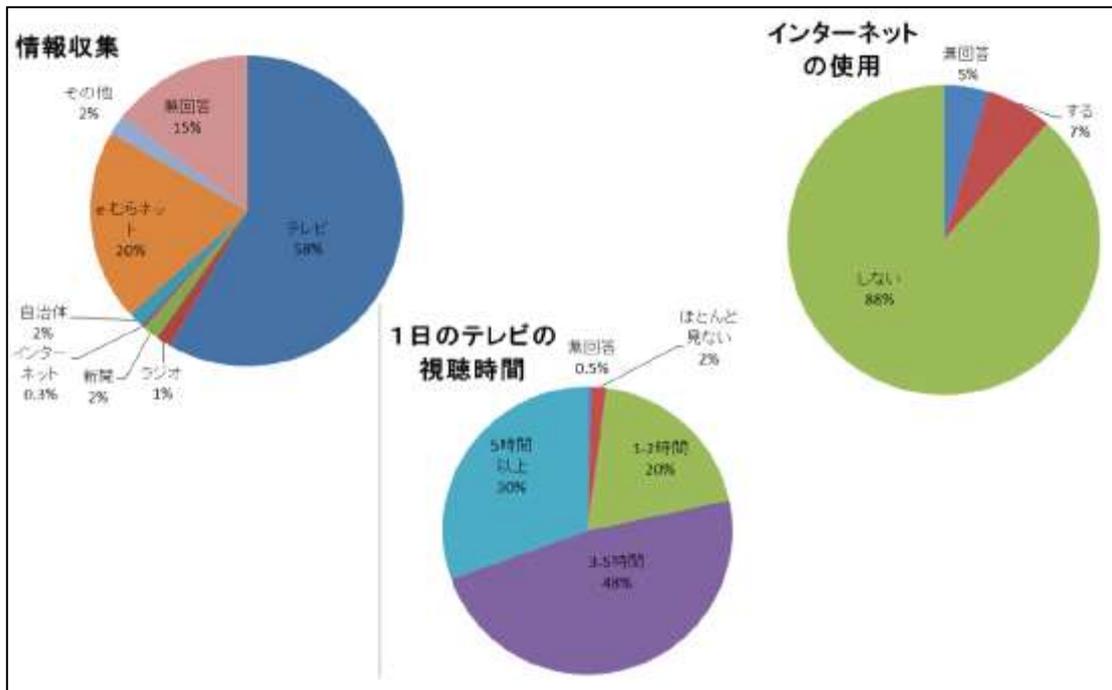


図1(7)②-5. 熱中症情報収集方法に関連する対象者の行動特性。

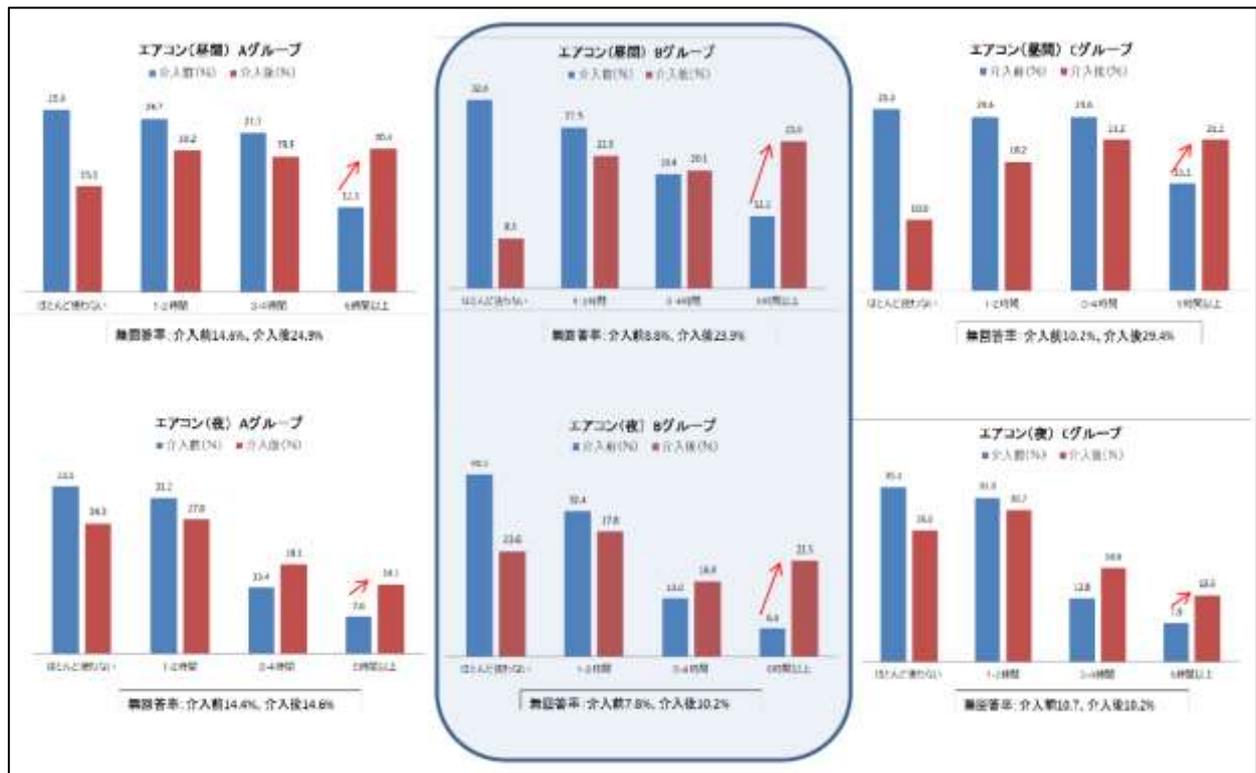


図1(7)②-6. 介入による行動の変化。Cグループが対照群で、Aグループが既存の施設による介入、Bグループはそれに温度計とペットボトルによる水の送付を加えた介入を行った群

表1(7)②-2は研究に費やされた人材の資源量を時系列でまとめたものである。ただし、3名からなる研究チームの五島市への旅程は除いた。準備期間は3群に共通する業務が多く、介入期間では介入の強度により介入群Bに伴う業務が多い。

表1(7)②-2. 研究に費やされた人材の資源量

時期	主な業務内容	業務量(人・時間)				
		研究 チーム	市 職員	民生 委員	社協 職員	内製作業 補助者
準備期間 (3~6月)	打合せ、資材作成、民生委員への説明、業者手配など	188	25.5	151	2	80
介入期間 (7~9月)	モニタリング、民生委員による訪問、熱中症情報配信、水配送など	739.5	63	3,350	0	0
フィード バック	モニタリングまとめ、市、民生委員、社協へ	166	6	65	2	0

表1(7)②-3は財・サービスの項目を時系列でまとめたものである。金額で示したものはフィールドでの当時の市場価格に基づいている。自家用車移動は20円/kmとした。

表1(7)②-3. 研究に費やされた財・サービスの資源量

時期	財・サービス(資源量)
準備期間 (3~6月)	配布用温度計シール(介入群A,B:17万円)、配布用クールタオル(介入群A,B:17万円)、配布用水(介入群B:25万円)、調査票印刷(介入群A,B、対照群:22万円)、その他消耗品(2万円)、研究チーム自家用車移動(30km/月:0.18万円)
介入期間 (7~9月)	水ボトルへのラベル貼り・配送などの役務(介入群B:186万円)、調査票等郵送代(介入群A,B、対照群:52万円)、調査票印刷(介入群A,B、対照群:22万円)、研究チーム自家用車移動(30km/月:0.18万円)、民生委員自家用車移動(1km/時:6.7万円)
フィード バック	データ入力役務(介入群A,B、対照群:35万円)、研究チーム自家用車移動(30km:0.06万円)

表1(7)②-4はこれらの結果から、2つの介入を市区町村が事業として行う場合の共通費用と対象者1人当たりの費用を推算したものである。ここで民生委員の協力の確保などの準備は、共通費用と見なした。研究チームの役割については保健師1人が実施を担うこととし、研究活動分と見なす準備期間の業務量を50%除外した。調査票については介入としての効果とモニタリングとしての意義を考慮に入れ除外しなかった。賃金は、人事院による国家公務員給与実態調査結果、最低賃金、フィールドでの支給実額などから仮定した。保健師1,500円/時、市職員・社協職員1,250円/時、民生委員・内製作業補助者800円/時とした。

表1(7)②-4. 介入を市町村が事業として行う場合の共通費用と対象者1にあたり費用

	共通費用	対象者1人当たりの費用
介入A	40万円	4,300円
介入B	40万円	11,000円

65歳から84歳までの高齢者が介入群A地区（人口4,674人、面積102.24km²）とB地区（人口8,925、面積134.80km²）ではそれぞれ1,526人と2,639人であるので、地区で全員を対象とした場合の総費用はおおよそ700万円と2,900万円と概算できる。

全国民の人口構成では人口10万人当たりの65歳から84歳までの高齢者はおよそ2万人になるので、目安としては人口10万人の市区町村で2つの介入を実施した場合の費用は8,640万円と2億2千万円と概算できる。

長崎県五島市における熱中症予防介入の費用モデリングを行い、共通費用を除いた対象者1人当たりの費用を推算した。1人当たりの費用は、インフラストラクチャーとして既存の音声告知端末による注意喚起を主体にした介入では4,300円、熱中症に関するメッセージをつけた水ボトルの繰り返し配布を加えた介入では11,000円程度と見込まれた。

これらの値の解釈としては、まず、機会費用は市区町村の歳出額と一致しない点に留意しなければならない。事業化した場合の予算額としては低い額になると考えられる。

絶対額の評価は難しいが、高齢者を対象とした予防接種と比較すると、インフルエンザワクチンの接種費用は概ね4,300円に近く、肺炎球菌ワクチンの接種費用は概ね11,000円に近い。健康問題としてプライオリティや介入の有効性を考慮に入れず、額だけをみれば地域での介入として検討対象になる範囲であろうと考えられる。

エアコンの使用による死亡リスクの低下効果を0～100%の幅を持たせて増分費用効果比の幅を推定した。さらに、S-8の経済班によって、熱中症予防に関する統計的生命価値が計測されているため、1死亡回避の費用も推定した。図1(7)②-7がその結果である。わが国において、介入によって超過死亡の何パーセントが予防できるかは明らかになっていないため、横軸にはその割合を0%（まったく予防できなかった場合）から100%（すべて予防できた場合）までとって推定している。メッセージとともに、物理的にペットボトルを届けることで、行動変容に対する効果は認められたものの、死亡を0に出来たととしても、増分費用効果比は4,400万円/年、1死亡回避費用は4.3億円と推定された。

増分費用効果比は、費用対効果判断のための閾値（500万円/年）を大きく上回り、介入の普及は費用対効果に優れないことが示唆された。さらに、1死亡回避費用の検討でも、熱中症死亡リスクの回避への支払意思額に基づく統計的生命価値（2億2,742万円）及び国土交通省の公共事業評価で用いられる値（2億2,607万円）と比較すると、大きく上回った。この介入の普及への資源投入を正当化するためには、対象者をリスクのより高い集団に絞るなどの方策が考えられる。なお、研究資源の問題もあり、救急搬送の費用が組み込まれていないなど、厳密な評価を行うだけの情報がいないため、今後さらなる研究が必要である。

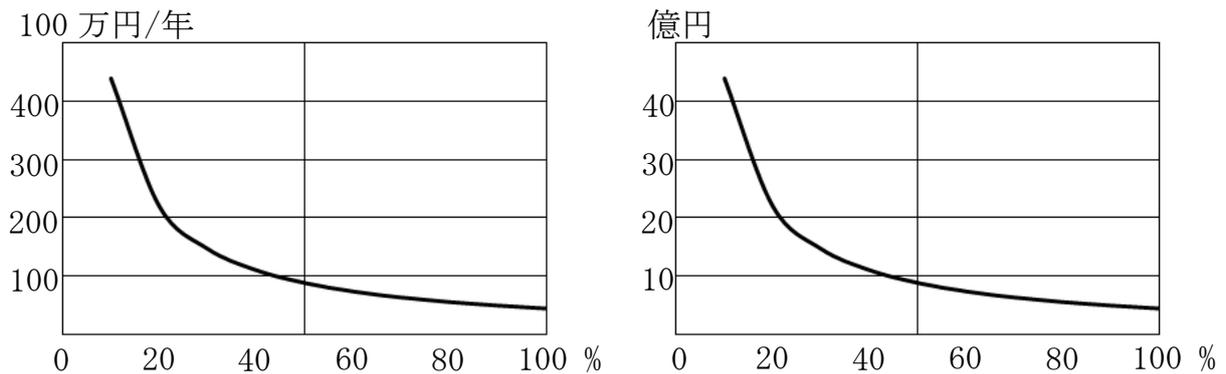


図1(7)②-7. 熱中症予防介入の費用と効果（左：増分費用効果比、右：1死亡回避費用）

本研究は介入の他自治体への移植・普及を念頭に置いて進めたが、大きな限界がある。第一に直接的には音声告知端末に準じたインフラストラクチャーを備えている自治体でなければ告知メディアを導入する費用を検討に含めなければならないが、含まれていない。第二に人材として民生委員を活用しているが民生委員の数には限りがあり、地域でのスケールアップには限界がある。また、民生委員の多くは65歳から84歳までの高齢者として対象者に当たってしまうことも容易に想像できる。第三に地理的特性や規模の経済といった考慮に入れてしかるべき事項についての検討が不十分である。

(4) 三郷市介入調査

大量の質問票、環境計測データを入手したため、データ整備に時間を要し、現時点では詳細な解析を行うに至っていない。しかし、表1(7)②-5に示すように、7月介入群と8月介入群（7月には7月介入群の対照群となる）とで介入前の行動パターンが異なっていた。性、年齢、世帯構成、入居年数、居住階数、住居の種類、電気代に関しては両群で相違は見られず、理由は不明であるが、今後の解析は困難が予想される。

なお、昨年度の段階で明らかになった点として重要な点は、エアコン未設置の世帯がある地域に集積していたことである。上記五島市の調査でも明らかになったように、対策によっては費用効果的に優れないため、対象集団を絞る必要があるが、このようなエアコン未設置の脆弱集団を事前に把握しておき、集中的に介入を行うことが費用対効果の改善に有効であると考えられる。

表1(7)②-5. 三郷市介入調査前後のエアコン使用行動変化

室温を確認してエアコンを使用する人の割合 (日中)	昨年63% (介入前) ↓ 7月74% ↓ 8月84%	昨年41% (介入前) ↓ 7月70% ↓ 8月77%
室温を確認してエアコンを使用する人の割合 (夜間)	昨年61% (介入前) ↓ 7月63% ↓ 8月69%	昨年33% (介入前) ↓ 7月62% ↓ 8月67%

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまでにわが国では行われてこなかった、地域集団を対象とした費用効果分析を含む熱中症予防介入調査を始めて実施した。その結果、ペットボトル送付などの介入により対処行動を起こさせる効果があることは明らかになったものの費用対効果で考えると問題があることが判明した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

研究そのものが地方自治体の環境政策の一つと考えられる。五島市、三郷市での調査実施後、研究成果の報告に伺い、市の保健担当職員の方々との意見交換を行った。これにより、両市の今後の対策に役立てていただくことが期待される。

<行政が活用することが見込まれる成果>

介入と共に、経済的な評価も可能な形のシステムを構築したので、自治体が同様の介入を行う際に、単に介入を行うのみでなく、その経済的な側面も評価できることから、この介入方法が地方自治体に利用されることが見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

GRL (ソウル国立大学のHo Kim教授との共同研究)

介入研究、費用対効果分析などについて話し合いを初め、S-8は終了しているが、2015年6月に経済分析を含む気候変動、大気汚染の健康影響・対策に関するシンポジウムを開催予定である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) M. KONDO, M. ONO, K. NAKAZAWA, M. KAYABA, E. MINAKUCHI, K. SUGIMOTO and Y. HONDA: Environ Health Prev Med 18, 3, 251-257 (2013)
"Population at high-risk of indoor heatstroke: the usage of cooling appliances among urban elderlies in Japan."
- 2) 萱場桃子, 中澤浩一, 近藤正英, 小野雅司, 水口恵美子, 杉本和俊, 本田靖: 民族衛生 79, 2, 47-53 (2013)
「夏期における高齢者の夜間のエアコン使用に関する研究」
- 3) M. KAYABA, T. IHARA, H. KUSAKA, S. IIZUKA, K. MIYAMOTO and Y. HONDA: Sleep Medicine 15, 5, 556-564 (2014)
"Association between sleep and residential environments in the summertime in Japan."
- 4) 水口恵美子, 中澤浩一, 萱場桃子, 近藤正英, 本田靖: 日本生気象学会誌 50, 1, 9-21 (2014)
「夏季における高齢者の冷房装置使用の調査: 2010-2011 の比較」
- 5) N. TAKAHASHI, R. NAKAO, K. UEDA, M. ONO, M. KONDO, Y. HONDA and M. HASHIZUME: Int. J.

Environ. Res. Public Health 12,3, 3188-3214 (2015)

"Community Trial on Heat Related-Illness Prevention Behaviors and Knowledge for the Elderly."

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) JD. FORD, L. BERRANG-FORD eds.: Climate Change Adaptation in Developed Nations - From Theory to Practice, Springer 189-204 (2011)
"Chapter 13. Adaptation to the heat-related health impact of climate change in Japan. (Authors: Y. HONDA, M. ONO and KL. EBI)"
- 2) 田中充, 白井信雄編: 気候変動に適應する社会、技報堂出版、120-123 (2013)
「第4章 4.3熱中症から身を守るまちづくり (執筆担当: 本田靖)」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 近藤正英, 本田 靖, 小野雅司, 萱場桃子, 水口恵美子, 杉本和俊: 第76回日本民族衛生学会総会 (2011)
「高齢者の居住温熱環境について」
- 2) 本田 靖 (パネリストとして発表): 気候変動に関する対話シンポジウム 将来の安全・安心な社会をめざして 第二部分科会③気候変動と自治体: 地方自治体は気候変動にどう対応できるのか? (2011)
「温暖化の健康影響について S-8-1(7)の成果。」
- 3) M. KIM, M. YOU, H. KIM, Y. LIM, C. KIM, Y. HONDA, Y. GUO: Twenty fourth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Columbia, USA, 2012.
"Role of Public Awareness in Health-protective Behaviors to Reduce Heat Waves Risk."
- 4) 近藤正英, 中澤浩一, 水口恵美子, 萱場桃子, 西山千加保, 橋爪真弘, 本田靖: 第77回日本民族衛生学会総会 (2012)
「市区町村における熱中症対策の全国実態調査」
- 5) 萱場桃子, 岩山海渡, 緒形ひとみ, 瀬谷友美, 佐藤誠, 徳山薫平, 本田靖: 第77回日本民族衛生学会総会 (2012)
「フィールド調査における客観的な睡眠評価指標の検討 - マット式睡眠計測機器と睡眠ポリグラフ検査の判定結果の比較 -」
- 6) 古尾谷法子, 橋爪真弘, 中尾理恵子, 上田佳代, 近藤正英, 小野雅司, 本田靖: 第27回日本国際保健医療学会 (2012)
「熱中症予防情報の家庭配信による行動意識変容 - 長崎県五島市における介入研究 -」
- 7) 古尾谷法子, 橋爪真弘, 中尾理恵子, 上田佳代, 近藤正英, 小野雅司, 本田靖: 第71回日本公衆衛生学会 (2012)
「長崎県五島市における熱中症予防ランダム化地域比較介入研究」
- 8) 萱場桃子, 飯塚悟, 日下博幸, 井原智彦, 宮本賢二, 本田靖: 第23回日本疫学会学術総会 (2013)
「夏期の睡眠状況と睡眠に影響を及ぼす要因 - 岐阜県多治見市における質問紙調査の結果」

- 9) 上田佳代, 小野雅司, 本田靖, 橋爪真弘, 山本太郎: 第83回日本衛生学会学術総会 (2013)
「夏季における気温と室内温度との関係: 空調使用の影響」
- 10) E. MINAKUCHI, K. NAKAZAWA, M. KAYABA, M. KONDO, Y. HONDA: Twenty fifth Conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Basel, Switzerland, 2013.
"Change of cooling appliance usage of elderlies: Before and after the Fukushima nuclear power plant accident."
- 11) 近藤正英, 古尾谷法子, 星淑玲, 中尾理恵子, 上田佳代, 小野雅司, 本田靖, 橋爪真弘: 第78回日本民族衛生学会総会 (2013)
「長崎県五島市における熱中症予防介入の費用モデリング」
- 12) 萱場桃子, 近藤正英, 橋爪真弘, 古尾谷法子, 本田靖: 第24回日本疫学会総会 (2014)
「埼玉県A市における高齢者の熱中症予防行動と居住環境」
- 13) 萱場桃子, 近藤正英, 本田靖: 第84回日本衛生学会総会 (2014)
「埼玉県A市における高齢者の熱中症予防に向けた介入の試み 第一報」
- 14) 萱場桃子, 本田靖: 第84回日本衛生学会総会 (2014)
「夏季の朝日が差し込む時刻と起床時刻との関連」
- 15) M. KAYABA, T. IHARA, H. KUSAKA, S. IIZUKA, K. MIYAMOTO, Y. HONDA: The IEA World Congress of Epidemiology 2014, Anchorage, USA, 2014.
"Measuring the prevalence of difficulty initiating sleep and difficulty maintaining sleep in the summertime using Pittsburgh Sleep Quality Index and their association with air conditioner installation."
- 16) 近藤正英, 高橋法子, 星淑玲, 中尾理恵子, 上田佳代, 小野雅司, 本田靖, 橋爪真弘: 第79回日本民族衛生学会総会 (2014)
「地域における熱中症予防介入の費用対効果」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Health Effect of Climate Change - Refinement of the Evaluation Methods and Establishment of Adaptation Strategy

Principal Investigator: Yasushi HONDA

Institution: Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8577, JAPAN

Tel: +81-29-853-2627 / Fax: +81-29-853-3255

E-mail: honda@taiiku.tsukuba.ac.jp

Cooperated by: Faculty of Medicine, University of Tsukuba

[Abstract]

Key Words: heat-related mortality, optimum temperature, cost-effectiveness, heatstroke prevention

(1) We previously developed a model for projection of heat-related mortality attributable to climate change. The objective of this study is to improve the fit and precision of and examine the robustness of the model, and make the model easy for local government officials to apply. The heat-related excess mortality was defined as follows: The temperature–mortality relation forms a V-shaped curve, and the temperature at which mortality becomes lowest is called the optimum temperature (OT). The difference in mortality between the OT and a temperature beyond the OT is the excess mortality. To develop the model for projection, we used Japanese 47-prefecture data from 1972 to 2008. Using a distributed lag nonlinear model (two-dimensional nonparametric regression of temperature and its lag effect), we included the lag effect of temperature up to 15 days, and created a risk function curve on which the projection is based. In the projection, we used 1961–1990 temperature as the baseline, and temperatures in the 2030s and 2050s were projected using five global circulation model, SRES A1B scenario, and WHO-provided annual mortality. Here, we used the "counterfactual method" to evaluate the climate change impact; For example, baseline temperature and 2030 mortality were used to determine the baseline excess, and compared with the 2030 excess, for which we used 2030 temperature and 2030 mortality. In terms of adaptation to warmer climate, we assumed 0 % adaptation when the OT as of the current climate is used and 100 % adaptation when the OT as of the future climate is used. The midpoint of the OTs of the two types of adaptation was set to be the OT for 50 % adaptation. The heat-related excess mortality for 2030 and 2050 were large in China and India. Unique feature of heat-related excess mortality due to climate change is that developed countries as well as developing countries will be substantially affected, whereas other health impacts are expected to be

restricted to developing countries.

(2) Considering that there has been no economical evaluation of heatstroke prevention system, we conducted intervention studies to prevent heatstroke with built-in economical evaluation unit. Our intervention to urge people to check the temperature of their own houses and drink sufficient amount of water all through summer, targeted to "healthy" elderly revealed that the behavioral changes occurred, but sending PET bottles of water was not cost-effective.