都市における屋外気温変化が多種の疾患に与える影響の総合評価

COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE INFLUENCE OF OUTDOOR TEMPERATURE CHANGE
ON HUMAN HEALTH AROUND THE URBAN AREA鳴海大典^{*1}, 井原智彦^{*2}, 福田早苗^{*3}, 下田吉之^{*4}*Daisuke NARUMI, Tomohiko IHARA, Sanae FUKUDA
and Yoshiyuki SHIMODA*

This paper aims to comprehensively and quantitatively evaluate the impact of urban outdoor temperature change on human health in Osaka Prefecture. The evaluation time range was the 1970s as the base period, the 1990s, the 2010s. Urban temperature change had a negative impact on health from the early summer to the early autumn, while a positive impact from late autumn to spring. The influence of sleep disturbance and fatigue had a large impact. Although the disability weight and the disease period are small for these disease, these influences are indispensable to evaluate the entire of health over the urban area.

Keywords : urban heat island, global warming, human health, impact analysis, LCIA

ヒートアイランド, 地球温暖化, 健康, 被害評価, ライフサイクル評価

1. はじめに

我が国では過去 100 年間に全国（都市影響が比較的少ない 15 都市）で年平均気温が 1.5 K 上昇し、地球温暖化（GW）の影響と考えられている¹⁾。また、主要な大都市ではヒートアイランド現象（UHI）と GW の相乗影響により夏季の最高気温が約 1~2 K、冬季の最低気温が約 3~6 K 上昇した¹⁾。主要都市の気温上昇率は 21 世紀以降も依然として高く¹⁾、近未来における昇温の継続は想像に難くない。都心回帰が今後さらに顕著化し、大都市圏の DID（Densely Inhabited District）を中心として UHI 影響が強まる可能性がある。一方で、CO₂濃度は世界的に増加の一途である²⁾。特に OECD 加盟国外での将来的な大幅増が予想され、GW 影響の拡大は不可避と考えられる³⁾。GW は都市化の程度に影響されないため、我が国においても非都市圏を含めて GW 影響の拡がり懸念される。

UHI や GW による気温変化は当然のことながら都市生活者に多様な影響を及ぼす。この点に関して、筆者ら⁴⁾は都市における気温変化とその影響について全体像を連関図で示すとともに、エネルギー・資源⁵⁾⁶⁾や健康⁷⁾⁸⁾⁹⁾、大気汚染¹⁰⁾¹¹⁾などに及ぼす影響を可能な限り定量的かつ多面的に評価してきた。得られた結果の一例として、エネルギーに関しては気温上昇が地域によっては需要減少に寄与するために、全国一律の UHI 対策が不適当であることや、大気汚染に関しては光化学オキシダント濃度に影響を及ぼす植生 VOC の気温依存性が高いことなどを示した。これらの検討に引き続き、本論文

では都市生活者の健康面に与える影響について可能な限り総合的な検討を試みる。

気象変化と健康との関連性については、古くから疫学的、生理学的な検討が生気象学や医学を中心として行われており、喘息やリウマチ、季節性感情障害などに対する影響が明らかとなってきた¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。しかしこれらは主に季節変化や気候区分などの影響に着目するものであり、都市における屋外気温変化を対象とするものではなかった。

都市における屋外気温変化と健康との関係について最も着目されるのは熱中症である。ヒートアイランド対策大綱¹⁵⁾においても冒頭で熱中症患者の増加が懸念として示されている。代表的な研究として挙げられるのは中井¹⁶⁾や藤部¹⁷⁾、星ら¹⁸⁾であり、暑熱障害による死亡について経年変化や発生場所の影響などが検討されている。また、建築を含めた要因分析が環境省によってなされている¹⁹⁾。一方で GW との関連で最も着目されるのは感染症であろう²⁰⁾。なかでも媒介生物の増加や越冬により、マラリアやデング熱などの感染症が増加すると指摘されている。2014 年に東京都でデング熱の患者が確認されたことも記憶に新しい²¹⁾。但し、この東京都における事例も偶発的であり、将来的にリスクが高まることが予想されるものの、その発生時期や場所を事前予測することは困難で不確実性が高い影響と考えられる²²⁾。一方で市民の実感としては、真夏に経験する症状として不眠や疲労・変調を挙げる割合が高く²³⁾、屋外気温変化に

^{*1} 横浜国立大学大学院環境情報研究院 准教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Graduate School of Environmental and Information Sciences, Yokohama National University, Dr.Eng.

^{*2} 東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Environment Systems, University of Tokyo, Dr.Eng.

^{*3} 関西福祉科学大学健康福祉学部 教授・博士(医学)

Prof., Dept. of Health and Welfare, Kansai University of Welfare Sciences, Dr.Med.

^{*4} 大阪大学大学院工学研究科 教授・工博

Prof., Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr.Eng.

伴うこれらへの影響は重要な問題として位置づけられる。その他には、熱・寒冷ストレスを起因とする循環器疾患や呼吸器疾患に関わる死亡リスクの変化²⁴⁾、気温変化に伴う光化学オキシダント濃度変化による死亡リスク²⁵⁾や喘息²⁶⁾への影響、さらには花粉症などのアレルギー患者の増加²⁷⁾が可能性として指摘されている。他方で、UHI や GW による気温変化は当然のことながら夏季のみならず年間を通して影響を及ぼすことが予想される。すなわち、冬季には気温が上昇することで、例えば上述の寒冷ストレスを起因とする死亡リスクが軽減される可能性の高いことに留意する必要がある²⁴⁾。

以上のように、UHI や GW が健康に及ぼす影響について概観するとともに代表的な検討事例を挙げたが、個別の具体的な疾患についてその要因分析や気温影響に関する定量評価が行われている一方で、それらを体系的に整理した上で影響に関する定量評価を行った事例は非常に少ないのが現状である。また、UHI や GW による気温変化は冬季にも影響を及ぼすため、健康に与える影響も年間を通して評価が必要となる。

屋外気温変化と健康との関連性について、マスメディアや政府発信の予防情報などが対象とするのは殆どが熱中症であり²⁸⁾、熱中症以外の健康影響は軽視される傾向がある。筆者らはこのような状況を鑑みて、これまで都市における気温変化が感染症類⁷⁾や睡眠⁸⁾²⁹⁾、疲労⁹⁾³⁰⁾に与える影響を評価すると共に、リスク分析に必要な重篤度^{注 1)}の決定³¹⁾などを進めてきた。本論文ではこれら筆者らが蓄積したデータや既往研究の成果を基にして、死亡に至る重篤な影響から比較的軽度な影響までを総合的に年間評価することを目的とするものである。

2. 健康影響評価の枠組み

本論文では日本版被害算定型影響評価手法(Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling, LIME)³²⁾に準拠した井原ら³³⁾の手法を踏襲し、様々な疾患^{注 2)}による健康被害を障害調整生存年(disability-adjusted life year, DALY)^{注 3)}を用いて統合的に評価する。

2.1 評価手順

本研究の具体的な評価手順を以下に記す。まず第 1 段階として、屋外気温変化と健康との関連性について、既往研究の成果を基に評価対象の枠組みを決定する(2.2 節)。続いて第 2 段階として、評価対象疾患の気温感応度を既往研究に基づき評価する(4.1 節から 4.3 節)。さらに第 3 段階として、既往研究による重篤度および有病期間などのパラメータに基づき、各疾患による被害量を DALY により評価する(4.1 節から 4.3 節)。なお、DALY と支払い意思額との関係を基にして経済的な価値としての被害評価も可能であるが、支払い意思額の決定には様々な課題も含まれることから、ここでは DALY の評価にとどめる。最後に第 4 段階として、得られた気温感応度のある特定の地域の過去から現在にかけての気温偏差に乗じることで、気温変化に伴う健康影響を疾患間で比較し、その影響の大小について比較を試みる(5 章)。

2.2 評価対象疾患

1 章で述べたように、都市における気温変化は死亡に至る重度のものから入院・通院を伴わない軽度のものまで、さまざまな水準の影響を及ぼす。ここでは DALY を求める際に異なる手順を要するこ

とから「死亡に至る(レベル 1)」、「死亡に至らない(レベル 2)」の 2 水準に区分して影響評価対象を決定した。レベル別に本論文で評価対象とした疾患を Table 1 に示す。これらの疾患を評価することで、都市における気温変化が健康に与える影響を総合的に評価できると考えた^{注 4)}。評価対象の空間的範囲は UHI の影響が顕著であり、健康影響の気温感度データが入手しやすい大阪府全域とした。

レベル 1 については、前述の熱・寒冷ストレスを起因とする循環器疾患や呼吸器疾患に関わる死亡リスクの変化に加えて、死亡に至る熱中症を採り上げた。なお、レベル 1 は生命損失年数(YLL)^{注 3)}により DALY を評価する。レベル 2 については各種感染症、睡眠困難、疲労、死亡に至らない熱中症を採り上げた。各種感染症に関して、対象とする疾患の選定方法は 4.2 で後述する。レベル 2 は相当損失年数(YLD)^{注 3)}により DALY を評価する。なお、各評価対象に関する分析方法などは 4 章で後述する。

2.3 気象データ

4 章では各疾患の影響分析を、5 章では被害分析をそれぞれ大阪府全域を対象として実施するが、両分析における基準気温には AMeDAS 大阪観測所の観測データを使用する。なお、各疾患の評価指標に関して、睡眠困難は午前 0 時の結果を、各種感染症は週間平均気温を、それ以外の疾患は日最高気温を用いる。

3. 熱中症の重篤度

YLD の評価には重篤度と有病期間が必要だが、レベル 2 の死亡に至らない熱中症は GBD(Global Burden of Disease)データベース³⁴⁾に設定がない。そこで、既往研究の手法を参考に、内科医に対するアンケート調査を通じて重篤度の決定を試みた。なお、本調査では同時に睡眠困難、疲労についても調査を行い重篤度を決定している³¹⁾。

GBD や Stouthard et al.³⁵⁾での事例では、人得失法(person trade-off)^{注 5)}を用いて重篤度を決定するが、質問数が多く回答者に多大な負担を掛ける問題がある。一方で、Müller-Wenk³⁶⁾による軽度なものから重度なものまでを含む 28 種類の他の疾患と比較させる方法^{注 6)}では、質問紙も簡素であり、回答者の負担も小さい利点がある。そこで Müller-Wenk の質問票を参考に、基準となる複数疾患の重篤度を回答者に提示した上で、熱中症の重篤度を相対的に評価させた。基準に関しては、Müller-Wenk が採用した疾患に対して「統合

Table 1 Evaluated disease or disturbance and its disability level

Level	Disease, Disturbance		Disability weight
Death (Level1)	Heat/Cold stress (65 and pver)		1.00
	Death by Heatstroke (under 65)		1.00
Not death (Level2)	Infections	Herpangina	0.16
		Hand, foot and mouth disease	0.17
		Pharyngo-conjunctival fever	0.12
		Escherichia coli	0.22
		Gastroenteritis	0.11
		Keratoconjunctivitis	0.09
		Exanthema subitum	0.13
	Sleep disturbance		0.069
	Fatigue		0.05
	Heatstroke (Not death)		0.14

Table 2 Determination of the disability weight of heatstroke

Level	N		Disability weight	
	-	Outliers	Average (95%CI)	Max.
Stage1 (Heat cramps)	40	11	0.081 (0.062-0.100)	0.2
Stage2 (Heat exhaustion)	49	2	0.237 (0.185-0.288)	0.6
Stage3 (Heat stroke)	51	0	0.463 (0.379-0.546)	-

失調症」,「鬱」,「原発性睡眠障害」を加えた全 31 種類とした。アンケート対象者は一般開業内科医とし,温暖化影響を受ける東京および大阪,名古屋圏在住,3 年以上の臨床経験を有する者を対象とした。調査対象者は医療情報専門会社である M3 Inc.によってインターネットを介して募集した。なお,本調査は上述のように睡眠困難,疲労と同時に実施したものであり,設問内容など調査手法の詳細に関しては Fukuda et al.³¹⁾を参照されたい。

調査対象人数は 70 名,得られた有効回答数は 51 サンプルであり,有効回答率は 73%であった。Smirnov-Grubbs 検定により外れ値を除外した上で,重篤度の平均値を求めた。なお,熱中症は医学的側面から I 度から III 度までの重症度分類³⁷⁾があり,本調査においても各分類で重篤度を定義した。I 度は軽症であり熱けいれんや熱失神と定義され,II 度は中等症であり熱疲労,III 度は重症であり熱射病と一般的には定義される。国立環境研究所による重症度別の熱中症患者数データ³⁸⁾によると,I 度の患者数は全体の 63%,II 度は 35%,III 度は 2%を占め,軽度の患者割合が高い値を示している。得られた結果を Table 2 に示す。重篤度の平均値は I 度が 0.081,II 度が 0.237,III 度が 0.463 となり,障害程度が上がるにつれて重篤度も高い値を示した^{注 7)}。調査の際に提示した疾患リストとの比較では,I 度は軽症安定狭心症 (I20^{注 8)}),II 度は神経障害を伴う糖尿病 (E10.4-E14.4^{注 8)}),III 度は重度の視力障害 (H54.0^{注 8)})と同程度と判断された。

4. 影響分析

本章では Table 1 に示した評価の枠組みに従い,各疾患に対する影響分析を筆者らが蓄積したデータや既往研究の成果を基に実施する。具体的には大阪府全域を評価範囲として屋外気温と DALY の関係性を評価する。

4.1 死亡に至る (レベル 1)

a) 熱・寒冷ストレスによる死亡

Honda et al.³⁹⁾は我が国の人口動態統計死亡票を解析し,日最高外気温と 65 歳以上の死亡率の関係を明らかにしている。その結果,多くの都道府県で屋外気温と死亡率との関係は V 字型を示し,例えば東京における至適気温 (V 字の最小) は 30.5℃であり,それよりも高いもしくは低い気温段階で死亡率が増加した。人口動態統計の死亡票はすべての死亡を対象としているため,すべての疾患による死亡がここで取り扱われている。しかし,上述のようにこの死亡率の増加は循環系や呼吸系,消化系の疾患をもっている者,それらの予備力^{注 9)}が低下した高齢者が熱中症に至るまでに循環不全で死亡した結果と考えられている²⁴⁾。本論文ではこの Honda et al.のデータを基にして,大阪府における日最高外気温と熱・寒冷ストレスによる死亡者数との関係から気温感度を定量化した。なお,Kunst et al.⁴⁰⁾は寒冷側の影響の半分は呼吸器系疾患の増加によるものであ

Fig. 1 Relationship between daily max. temperature and number of deaths due to heat / cold stress over 65s (Osaka Pref.)

Fig. 2 Relationship between daily max. temperature and DALY (death due to heat / cold stress over 65s Osaka Pref.)

り,寒冷ストレスにあたらないことを指摘しており,本論文でも寒冷側については 1/2 を乗じている。以上のプロセスで得られた日最高外気温と 65 歳以上の死亡リスクとの関係を Fig. 1 に示す。

このような熱ストレスに対する脆弱性を起因とする死亡事象には刈り取り効果(harvesting effect)^{注 10)}が働くことが予想されることから,本項の死亡事象に関わる YLL は LIME にならない 2 年とした。以上のパラメータを基に推計された日最高外気温と DALY との関係を Fig. 2 に示す。

b) 熱中症による死亡

上述の Honda et al.³⁹⁾は 65 歳以上を対象としており,65 歳未満の年齢階級は死亡率が低い上に刈り取り効果が小さいこともあり,日最高外気温との明確な関係がみられないことが指摘されている⁴¹⁾。一方で,熱中症に関しては小野⁴²⁾による死亡統計が存在する。本論文ではこのデータを用い,日最高外気温と 65 歳未満の熱中症による死亡者数との関係から気温感度を定量化した。なお,小野によるデータは 65 歳以上を含むため,同時期の人口動態統計死亡データから 65 歳未満の死亡者比率を求めて除外する補正を行った。得られた結果を Fig. 3 に示す。

熱中症による死亡に関する YLL は,大阪府における年代別平均余命と小野による年代別熱中症死亡比率を基にして,平均余命をこの死亡比率で重み付けすることで推定した。結果として YLL は 27.4 年と評価された。なお,本田ら²⁴⁾によると熱中症などを含む過度の高温による死亡数は 1%未満であり,上述の熱ストレスと比較して圧倒的に割合は低い。以上のパラメータを基に推計された日最高外気温と DALY との関係を Fig. 4 に示す。

4.2 死亡に至らない (レベル 2)

a) 感染症類

感染症に関しては屋外気温との関連性を網羅的に調査した事例が

Fig. 3 Relationship between daily max. temperature and number of deaths by heatstroke under 65s (Osaka Pref.)

Fig. 4 Relationship between daily max. temperature and DALY (death by heatstroke under 65s, Osaka Pref.)

みられない。そこで筆者らは大阪府保健所から提供を受けた感染症発生動向調査データを基にして、各種感染症の発症数と屋外気温との関係を分析した^{注11)}。感染症発生動向調査とは厚生労働省が感染症の予防や流行予測のために、87種類の感染症に関して報告数を集計するものである。本研究の分析対象は87種類のうち、感染症発生動向調査事業年報の週別報告数から明確な季節変動が認められ、気温との関連性があると考えられる16項目を第一段階として選定した。分析対象とした感染症をTable 3に示す。16項目のうち、細菌性赤痢と腸管出血性大腸菌感染症は全医療機関に報告が義務付けられており全数の把握が可能であるが、インフルエンザは府内295ヶ所、流行性角結膜炎は52ヶ所、その他の感染症は195ヶ所の定点（指定医療機関）からの報告数が把握されている^{注12)}。なお、報告数は全て1週間毎に集計されている。

Table 3に示す16項目に関して、週平均気温と週別日平均気温との相関関係から1次関数もしくは指数関数による回帰式を求めた。得られた回帰式をTable 3に示す。分析対象とした16項目中で相関性が認められたのは7項目のみであり、ヘルパンギーナ・手足口病・咽頭結膜炎・腸管出血性大腸菌感染症・感染症胃腸炎・流行性角結膜炎・突発性発疹の7疾患は気温感度が有意であると評価された。そのうち感染性胃腸炎は気温と負の相関が、それ以外の感染症では全て気温と正の相関が認められた。インフルエンザに関しては気温との相関関係は認められなかったが、週平均気温が約10℃以下になると報告数が増加することがわかった。本論文ではこれらの回帰式から気温感度を定量化した^{注13)}。重篤度と有病期間に関してはTable 3のように設定したが、感染性胃腸炎の重篤度についてはGBDの記載から、その他の重篤度に関してはGBDに記載がないことから、GBDに記載のある類似疾患より適宜設定した^{注14)}。有病期間については臨床における平均罹患期間を医学資料を基にして設定

Table 3 Relationship between the number of occurrences of various infectious diseases and temperature

Disease	Correlation	Approximation [range of use]	R ²	Ill period (day)
Herpangina	P	$y = 0.13e^{(0.25x)}$ [May - July and 20 - 27 °C]	0.77	8
Hand, foot and mouth disease	P	$y = 0.22e^{(0.16x)}$ [over 22°C]	0.46	10
Influenza	-	-	-	-
Chickenpox	-	-	-	-
Measles	-	-	-	-
Epidemic parotitis	-	-	-	-
Rubella	-	-	-	-
Pharyngo-conjunctival fever	P	$y = 0.41e^{(0.12x)}$ [over 21°C]	0.49	6
Whooping cough	-	-	-	-
Bacillary dysentery	-	-	-	-
Escherichia coli	P	$y = 0.047x - 0.27$	0.46	7
Erythema infectiosum	-	-	-	-
Group A streptococcal pharyngitis	-	-	-	-
Gastroenteritis	N	$y = -7.4x + 279$	0.52	2
Keratoconjunctivitis	P	$y = 0.074x + 1.7$	0.28	14
Exanthema subitum	P	$y = 0.30x + 12$	0.43	5

P: Positive, N: Negative, -: No correlation

y: daily average occurrence, x: weekly average temp. [°C]

Fig. 5 Relationship between daily max. temperature and DALY (infections, Osaka Pref.)

Fig. 6 Relationship between outside temperature at 12 midnight and DALY (sleep disturbance, Osaka Pref.)

した。以上のパラメータを基に推計された週平均気温とDALYとの関係をFig. 5に示す。

b) 睡眠困難

鳴海らは夏季や冬季の異なる季節の中で、屋外気温の変化が睡眠困難に与える影響をアンケート調査により明らかにしている⁸⁾。調査は2010年7月下旬から10月上旬までの夏季と11月下旬から3月上旬までの冬季に大別して実施された。調査対象者は大阪府内に居住する20歳以上の男女約600名（各期延べ人数）である。なお、調査方法の詳細ならびに結果は鳴海ら⁸⁾を参照されたい。

本調査では、過去1か月の睡眠を問う日本語版ピッツバーグ睡眠質問票(PSQI-J)⁴³⁾を応用したSleep Quality Index for Daily Sleep (SQIDS)²⁹⁾を用いて評価しており、SQIDSはスコアが高くなるほど

睡眠が困難な状況にあることを示す。調査結果から SQIDS スコアを基に日々の睡眠困難による有症率を求めた結果、0 時外気温が 18.1℃以上で 1℃当たり 0.84%の有症者が増加すると推定された。本論文ではこのデータを用いて 0 時外気温と推定有症率との関係から睡眠困難に関する気温感度を定量化した。

睡眠困難による重篤度については、筆者らが実施した 6 名の専門家（睡眠医学 4 名，精神医学 2 名）に対するヒアリング結果から軽度の睡眠困難に相当する 0.069 を設定した。得られた結果については Fukuda et al.³¹⁾で報告しており，調査方法も含めて参照されたい。有病期間については，気温変化に伴う睡眠困難は当日のみに影響を及ぼすこと，アンケート調査による影響判定は日ごとであったことも勘案し，本論文では 1 日に設定した。以上のパラメータを基に推計された 0 時外気温と DALY との関係を図 6 に示すと，屋外気温に依存しない被害が一定数（DALY で 567）存在し，上述の気温閾値から被害量が増加することがわかる。

c) 疲労

上述の睡眠困難に関する調査では疲労に関する調査も併せて実施している。調査方法の詳細ならびに結果は鳴海ら⁹⁾を参照されたい。

本調査では Chalder の疲労尺度日本語版（CF スコア）⁴⁴⁾を基にした Daily Chalder 総合得点（DCF スコア）で疲労状況を評価しており，DCF スコアから日々の有症率を求めた結果，日最高外気温が 12.0℃未満では 1℃上昇当たり 0.70%の有症者が減少する一方で，日最高外気温が 24.2℃以上では 1℃上昇当たり 0.76%の有症者が増加すると推定された。本論文ではこのデータを用いて日最高外気温と推定有症率との関係から疲労に関する気温感度を定量化した。

疲労による重篤度については，筆者らが実施した 7 名の専門家（疲労医学 5 名，精神医学 2 名）に対するヒアリング結果から，気温変化によって起こる短期的な疲労として 0.05 を選択した。得られた結果は Fukuda et al.³¹⁾で報告している。有病期間については，睡眠困難と同様に 1 日とした。以上のパラメータを基に推計された日最高外気温と DALY との関係を図 7 に示すと，屋外気温に依存しない被害が一定数（DALY で 418）存在し，上述の気温閾値から被害量が増加することがわかる。

d) 死亡に至らない熱中症

4.1 節の b 項では死亡に至る熱中症について扱ったが，2011 年から 2016 年の 7 年間における熱中症死亡数は平均で 942 人であるのに対して，救急搬送者数は 49,384 人と 50 倍を超える。そこで本論文では，国立環境研究所による救急搬送熱中症患者データ⁴⁵⁾のうち，2004～2009 年度の大阪市における搬送データを用いて日最高外気温と熱中症搬送者数との関係から死亡に至らない熱中症に関する気温感度を定量化した^{注 15)}。得られた結果を図 8 に示す。

重篤度は Table 2 に示したとおりである。有病期間に関しては，日本救急医学会⁴⁶⁾による重症度別の入院日数報告から重症度別平均入院日数を算出し，重症度ごとにその平均期間を有病期間と設定した結果，Ⅰ度では 3.9 日，Ⅱ度では 4.2 日，Ⅲ度では 7.4 日と推定された。これらの値を基にして，最終的には国立環境研究所³⁸⁾による重症度患者比率から重篤度と有病期間の重み平均を求めた結果，重篤度は 0.14，有病期間は 4.03 日と設定された。以上のパラメータを基に推計された日最高外気温と DALY との関係を図 9 に示す。

Fig. 7 Relationship between daily max. temperature and DALY (sleep fatigue, Osaka Pref.)

Fig. 8 Relationship between daily max. temperature and emergency ambulance transport number due to heat stroke (Osaka Pref.)

Fig. 9 Relationship between daily max. temperature and DALY (mild heatstroke, Osaka Pref.)

5. 被害分析

5.1 分析条件

本章では 4 章で得られた屋外気温と DALY との関係を基にして，UHI や GW の影響により過去から現在にかけて変化した屋外気温が各疾患の DALY に与える影響を総合評価する^{注 16)}。評価対象とする時間的範囲に関しては，1967 年から 1977 年（中央年：1972 年，以降 1970 年代と表記）を基準期間として，1987 年から 1997 年（中央年：1992 年，以降 1990 年代と表記），さらには 2007 年から 2017 年（中央年：2012 年，以降 2010 年代と表記）の過去 40 年間（中央年で）とする。40 年間の気温変化について，Fig. 10 に日最高外気温，Fig. 11 に午前 0 時の外気温の比較結果をそれぞれ示す。折れ線は各年代について 11 年間の平均値を，棒グラフはそれらの差を示している。

日最高外気温と比較して若干 0 時外気温の上昇幅が大きな値を示した。0 時外気温については 1 月に逆転がみられるが，その他の月では概ね経年的に気温が上昇した。一方で，日最高外気温については 1990 年代で 4 月および 5 月に気温の低下がみられることや，初冬季（11 月から 1 月）に 1990 年代の気温が最も高くなるなど，そ

Fig. 10 Secular change in monthly average of daily max. temperature (Osaka Pref.)

Fig. 11 Secular change in monthly average of temperature at 12 midnight (Osaka Pref.)

の変化傾向は 0 時外気温と比較してややばらつきが確認された。

5.2 評価結果

Table 4 に各年代における各疾患の DALY 評価結果を示す。各疾患に対して各年代 (11 年間) の平均値, 最大値, 最小値, さらには 1970 年代を基準として 1990 年代, 2010 年代の変化率を各表下段に記載している。また, 年間評価に加えて典型的な冬季の 2 月と夏季の 8 月についても同様の値を記載している。以下, レベル毎に結

果を整理する。

a) 死亡に至る (レベル 1)

熱ストレスに関しては, 年間評価の平均値では概ね線形的に DALY が増加する一方で, 最大値は 1990 年代および 2010 年代のともに倍程度の増加がみられるが, 各年代を通じての最大値は記録的な猛暑に見舞われた 1994 年であり, 必ずしも経年変化傾向と一致しないことに留意が必要である。2 月はいずれの年代も影響はみられない。8 月は特に 2010 年代の平均値の増加が 1970 年代と比較して 3 倍弱と顕著であり, 夏季には熱ストレスが安定的に強まっていることがわかる。8 月のみでは 2010 年に最大値を記録した。

寒冷ストレスに関しては, 年間評価の平均値では減少傾向にあり, 特に 1990 年代にかけての減少が顕著である。1990 年代の年間値は 1970 年代と比較して 6%, 2010 年代の年間値は 1970 年代と比較して 9% と絶対量が非常に大きいため減少率は小さいが, 差は熱ストレスと比べて 2 倍程度と大きな影響を持つ。年間評価の最大値や最小値は平均値とほぼ同様の変化を示した。2 月の変化傾向は年間評価とほぼ同様であった。寒冷ストレスは 28℃を閾値とするため 8 月にも若干影響はみられるが値は非常に小さい。

熱中症 (死亡に至る) に関しては, 平均値の評価においては熱ストレスと同様の傾向を示すとともに, 絶対量についても同程度の値となった。年間評価の最大値は 1994 年に記録し, 1970 年代と比較して 2.5 倍程度であった。8 月のみでも最大値は 1994 年であった。本項目は指数関数で気温感度が定義されるため, 特に日最高外気温が 37℃を超える極度な暑熱により最大値が熱ストレスに比べて上昇しやすい傾向がみられた。

b) 死亡に至らない (レベル 2)

Table 4 では対象とする全ての感染症をまとめて感染症類として評価している。結果的には全評価期間を通して絶対量が小さく, また年代変化や気温変化の影響が弱い結果となった。項目毎では 2 月には感冒性胃腸炎の影響によって DALY が減少した。8 月には手足口病の影響によって DALY が増加した。なお表は割愛するが, 季節性かつ特定の気温帯のみで相関性が確認されるヘルパンギーナは,

Table 4 Evaluation results of DALY for each disease or disturbance in each period

Disease or Disturbance	index	Annual			February			August			Disease or Disturbance	index	Annual			February			August		
		1967 to 1977	1987 to 1997	2007 to 2017	1967 to 1977	1987 to 1997	2007 to 2017	1967 to 1977	1987 to 1997	2007 to 2017			1967 to 1977	1987 to 1997	2007 to 2017	1967 to 1977	1987 to 1997	2007 to 2017	1967 to 1977	1987 to 1997	2007 to 2017
Heat stress (death)	Avg.	191.1	309.6 62%	443.7 132%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	105.8	182.4 72%	289.4 173%	Sleep disturbance	Avg.	10311.6	11749.2 14%	12946.5 26%	0.3	0.4 50%	0.4 50%	3556.6	3845.2 8%	4147.7 17%
	Max.	401.1	797.5 99%	745.2 86%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	221.1	440.3 99%	484.8 119%		Max.	11870.2	15139.5 28%	14376.4 21%	2.8	4.2 50%	4.2 50%	4026.7	4669.4 16%	4680.6 17%
	Min.	63.5	62.2 -2%	182.5 188%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	32.1	34.7 8%	58.2 82%		Min.	8599.5	9151.2 6%	11482.4 34%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	3213.3	3052.3 -5%	3722.9 16%
Cold stress (death)	Avg.	10216.5	9567 -6%	9272 -9%	1733.7	1650.6 -5%	1603.5 -8%	11.6	3.7 -68%	2.9 -75%	Fatigue	Avg.	9223.7	8986.8 -3%	9976.6 8%	829.5	600.3 -28%	545.4 -34%	2229.1	2469.0 11%	2648.3 19%
	Max.	10706.0	10208.5 -5%	10022.0 -6%	1955.3	1833.2 -6%	1859.4 -5%	33.7	20.0 -41%	10.8 -68%		Max.	11192.3	11366.9 2%	11631.8 4%	1247.7	892.4 -28%	950.0 -24%	2670.9	2995.2 12%	3060.8 15%
	Min.	9461.6	8941.8 -5%	8565.6 -9%	1534.6	1469.8 -4%	1369.7 -11%	0.0	0.0 0%	0.0 0%		Min.	7397.7	6857.2 -7%	8756.2 18%	440.4	325.2 -26%	199.4 -55%	1875.1	1841.5 -2%	2096.7 12%
Heatstroke (death)	Avg.	141.9	222.0 57%	299.5 111%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	70.0	124.5 78%	185.7 166%	Heatstroke (mild)	Avg.	0.6	0.7 28%	0.9 60%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	0.2	0.4 40%	0.4 85%
	Max.	255.2	621.0 143%	487.1 91%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	122.7	358.1 66%	349.5 43%		Max.	0.7	1.3 66%	1.1 43%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	0.4	0.7 84%	0.7 83%
	Min.	74.6	63.5 -15%	151.2 103%	0.0	0.0 0%	0.0 0%	33.0	30.7 -7%	47.4 44%		Min.	0.4	0.4 -9%	0.6 65%	0.0	0.0 0%	0.0 -6%	0.2	0.2 -6%	0.2 32%
Infections	Avg.	68.5	68.9 1%	68.7 0%	5.1	5.0 -2%	5.0 -2%	6.4	6.7 5%	7.0 9%	Total	Avg.	30154.2	30904.8 2%	33008.5 9%	2568.7	2256.3 -12%	2154.3 -16%	5979.8	6632.0 11%	7281.6 22%
	Max.	73.7	72.9 -1%	72.7 -1%	5.3	5.2 -3%	5.2 -3%	6.9	7.7 10%	7.7 10%		Max.	33029.2	36938.9 12%	36553.9 11%	3208.3	2730.8 -15%	2814.6 -12%	6995.8	8303.8 19%	8504.0 22%
	Min.	65.7	65.6 0%	65.4 -1%	4.9	4.9 -2%	4.8 -2%	6.1	5.9 -3%	6.4 6%		Min.	26700.5	26100.5 -2%	29777.7 12%	1982.7	1799.9 -21%	1573.9 -4%	5173.2	4972.7 -4%	6001.6 16%

Fig. 12 Monthly evaluation of changing DALY due to outside temperature change in Osaka Pref. for 40 years (from the 1970's to the 2010's)

5月と6月で大幅に増加する一方、7月は気温帯が外れることから被害量が減少した。

睡眠困難に関しては^{注17)}、年間評価および8月の平均値で概ね線形的にDALYが増加した。年間評価の平均値の増加率は年代間で14%程度とそれほど大きくないが、寒冷ストレスと同様に絶対量が大きく、その差は寒冷ストレスと比較しても顕著に大きい。各年代を通じての最大値は1995年に記録しており、日最高外気温を変数とする熱ストレスや熱中症（死亡）とは異なる結果となった。年間評価の最小値は2010年代に大きく増加しており、近年は安定して夜間気温が上昇していることを示す結果である。

疲労に関しては^{注17)}、年間評価は全ての指標で変化率が小さくなった。これは絶対量が多いことに加えて、気温上昇に伴い冬季は減少、夏季は増加することで相殺されるためである。絶対量は睡眠困難や寒冷ストレスと同程度の大きな値を示した。2月は減少、8月は増加を示したが、特に冬季の閾値は日最高外気温で12℃とやや低めであるため、冬季と比べて夏季の変化量が大きくなった。各年代を通じての最大値は2010年に記録した。

熱中症（死亡に至らない）に関しては、感染症と比較しても絶対量は圧倒的に小さく、その影響はごくわずかであった。

c) 健康影響の総合評価

以上を総合して、過去40年間の気温変化によって生じる健康全般に与える影響を全疾患の合計値で評価する。年間評価の平均値では特に1990年代から2010年代にかけての増加が顕著であり、1970年代から1990年代にかけての変化に比べて4倍程度となった。後述する8月と比べて変化量が大きく、暑さのピークだけでなく初夏から晩夏にかけて全体的に気温が上昇することで大きな影響がみられた。一方で各年代を通じての最大値は1994年に記録しており、経年変化傾向とは若干異なり、突発的な猛暑の影響が強いことがわかる。最小値によると、1990年代には1970年代を下回る値を示すこともあったが、2010年代の最小値は1970年代の平均値と同程度であり、全体的に影響が強まっていることがわかる。2月にはいずれの指標も減少傾向にあるが、特に1970年代から1990年代にか

けての減少率が大きな値を示した。8月においてもやはり最小値の増加が顕著である。

Fig. 12に2010年代と1970年代の差について月別に評価した結果を示す。上述のように感染症類や死亡に至らない熱中症のDALYは非常に小さく判別が困難である。結果によると、この40年間の気温変化によって5月から10月まではDALYの合計値が増加する一方で、11月から4月までは減少した。すなわち、初夏から初秋までは健康に対して悪影響になる一方で、晩秋から春にかけては良い影響を与えていることが示された。ただし、中間期である4月や11月の影響は非常に小さい。5月から10月にかけても寒冷ストレスの軽減はみられるが、悪影響に相殺されている。DALYの増加側で最も変化が大きいのは8月であり、中でも睡眠困難や疲労、熱ストレスによる死亡、熱中症による死亡が大きな値を示した。減少側で最も変化が大きいのは2月であり、疲労や寒冷ストレスによる死亡が大きな値を示した。年間合計では2,854[DALY]の増加となった。DALYの変化には睡眠困難や疲労の影響が非常に大きく、一人あたりのDALY、つまり重篤度や有病期間は小さいが、都市全体でのマクロな視点では多くの市民に影響を与える疾患の影響が無視できないことが示された。

6. おわりに

本論文は都市における屋外気温変化が健康に与える影響について総合的かつ定量的な評価を行うことを目的に、筆者らが蓄積したデータや既往研究の成果を基にして、死亡に至る重篤な影響から比較的軽度な影響まで年間を通した評価を行った。具体的には被害算定型ライフサイクル影響評価手法の概念に基づき、様々な疾患による健康被害をDALYを用いて統合的に評価した。評価対象の空間的範囲はUHIの影響が顕著であり、健康影響の気温感度データが入手しやすい大阪府全域とした。得られた知見を以下に記す。

- 1) Müller-Wenkの手法を参考に、内科医に対するアンケート調査を通じて死亡に至らない熱中症の重篤度を決定した結果、重篤度の平均値はI度が0.081、II度が0.237、III度が0.463であった。
- 2) 気温変化の影響を受ける疾患を2水準に区分し、各疾患の気温感度を基にして気温指標（日最高外気温もしくは0時外気温）とDALYとの関係を評価した。
- 3) 年間評価のDALYの平均値は特に1990年代から2010年代にかけての増加が顕著であり、1970年代から1990年代にかけての変化の約4倍であった。
- 4) 各年代を通じての最大値は1994年に記録しており、突発的な猛暑の影響が強く、安定的に増加する平均値とは傾向が異なることが示された。
- 5) 2010年代の最小値は1970年代の平均値と同程度であり、近年は極端に低い値を示さないことが明らかとなった。
- 6) 40年間の気温変化により5月から10月までは合計値が増加する一方で、11月から4月までは減少した。これは都市の気温変化は夏から秋にかけて健康に悪影響を及ぼす一方で、晩秋から春にかけては良い影響を与えることを示している。
- 7) DALYの増加側で最も変化が大きいのは8月であり、特に睡眠困難や疲労、熱ストレスによる死亡、熱中症による死亡が大きな値を示した。一方、減少側で最も変化が大きいのは2月であり、特に疲

労や寒冷ストレスの緩和が大きな影響を与えた。DALY の年間合計は増加であった。

8) 睡眠困難や疲労の影響は DALY の変化に非常に大きな影響を与えた。これらは一人あたりの値は小さいが、都市全体でのマクロな視点では影響が無視できないことが示された。

今後の課題としては、注 4 や注 11 でも述べたように、光化学オキシダント濃度上昇に伴う喘息や死亡リスクの変化、花粉飛散量の変化に伴う花粉症への影響、さらには現時点では不確実性の高いデング熱など生物が媒介する感染症の影響など、将来も見据えて包括的に健康影響を評価するためには、現時点の枠組みからさらに評価対象疾患を拡大した検討が必要になると考えられる。この点に関連して、日下ら⁴⁷⁾が熱中症（熱っぽさ）や睡眠困難（寝苦しさ）を対象として検討しているように、将来気候変動が都市における包括的な健康影響評価にどのような影響を与えるかについても検討が必要になると考えられる。

謝辞

本研究の一部は科研費基盤研究（B）23360437 ならびに大林財団研究助成の支援を受けた。データ解析においては大阪大学下田研究室宮沢和貴君（当時博士前期課程大学院生）ならびに横浜国立大学鳴海研究室秋山雄君（当時博士前期課程大学院生）の協力を得た。また、国土交通省の健康維持増進住宅研究委員会（委員長：村上周三）での議論を通して貴重なご意見を頂いた。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) The Japan Meteorological Agency: Climate Change Monitoring Report 2016, Chap.2 Climate Change, pp.37-57, 2017.7 (in Japanese)
- 2) World Meteorological Organization: WMO Greenhouse Gas Bulletin, 2017.10
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change: Fifth Assessment Report: Climate Change, 2013.11
- 4) Y. Shimoda, D. Narumi, M. Mizuno: Environmental Impact of Urban Heat Island Phenomena - Cause-effect Chain and Evaluation in Osaka City -, Journal of Life Cycle Assessment, Japan, pp.144-148, 2005.7
- 5) D. Narumi, Y. Niurao, Y. Shimoda, M. Mizuno: Effects of Increasing Temperature on the Regional Energy Consumption in Osaka Pref., Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No.613, pp.71-78, 2007.3 (in Japanese)
- 6) D. Narumi, S. Hashimoto, Y. Shimoda, M. Mizuno: Regional Characteristics of the Effect of Temperature upon the Energy Consumption, Energy and Resources, No.166, pp.45-51, 2007.11 (in Japanese)
- 7) A. Kadobayashi, Y. Niurao, D. Narumi, Y. Shimoda, M. Mizuno: How the Air Temperature Change in Urban Region Influences Human Health, Technical Papers of Kinki-chapter Meeting the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, pp.25-28, 2007.3 (in Japanese)
- 8) D. Narumi, T. Ihara, S. Fukuda: Study on the Impact for Sleep Disturbance Due to Changing Urban Outdoor Temperature, AIJ Journal of Technology and Design, No.52, pp.1045-1048, 2016.10 (in Japanese)
- 9) D. Narumi, T. Ihara, S. Fukuda: Study on the Impact for Fatigue Due to Changing Urban Outdoor Temperature, AIJ Journal of Technology and Design, No.54, pp.563-566, 2017.6 (in Japanese)
- 10) D. Narumi, Y. Shimoda, A. Kondo: The Effect of the Increase in Urban Temperature on the Concentration of Photochemical Oxidants, Atmospheric Environment, Vol.43, Issue14, pp.2348-2359, 2009.5
- 11) H. Bao, A. Kondo, A. Kaga, M. Tada, K. Sakaguchi, Y. Inoue, Y. Shimoda, D. Narumi, T. Machimura: Biogenic Volatile Organic Compound Emission Potential of Forests and Paddy Fields in the Kinki Region of Japan, Environmental Research, Vol.106, Issue2, pp.156-169, 2008.2
- 12) A. Nakayama (Editor): Thermophysiology, Rikogakusha Publishing Co., Ltd., 1981.1 (in Japanese)
- 13) Y. Fukuoka, M. Yoshino: Weather Proverbs Related to Health-disease and their Seasonal Characters, AIRIES, Vol.17, No.1, pp.83-89, 2012. (in Japanese)
- 14) T. Miura: Climate, Temperature and Health, The Ohara Memorial Institute for Science of Labour, 1985.7 (in Japanese)
- 15) Inter-ministry Coordination Committee to Mitigate Urban Heat island: Outline of the Policy Framework to Reduce Urban Heat Island Effects, 2004.3 (in Japanese)
- 16) S. Nakai: Number of Deaths from Heat Stroke and Meteorological Condition - A Survey of the Last 21 Years in Japan -, Japanese Journal of Biometeorology, 30(4), pp.169-177, 1993.10 (in Japanese)
- 17) F. Fujibe: Long-term Variations in Heat Mortality and Summer Temperature in Japan, TENKI, 60(5), pp.371-382, 2013.5 (in Japanese)
- 18) A. Hoshi, Y. Inaba: Mortality Rate of Heat Disorder Analyzed by Place of Occurrence Using Vital Statistics in Japan, Japanese Journal of Biometeorology, 39(1,2), pp.37-46, 2002. (in Japanese)
- 19) Ministry of the Environment, Government of Japan: Research Work Report of the Relationship Analysis of Heat Stroke and Heat Island Phenomena in FY 2010, pp.15-46, 2011.3 (in Japanese)
- 20) Ministry of the Environment, Government of Japan: Global Warming and Infectious Diseases, 2005. (in Japanese)
- 21) N. Seki and more of 17 people: An Autochthonous Outbreak of Dengue Type 1 in Tokyo, Japan 2014, Japanese Journal of Public Health, 62(5), pp.238-250, 2011.3 (in Japanese)
- 22) IPCC: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, 2001.
- 23) National Institute of Environmental Studies, Japan: Questionnaire on Global Warming (online), available from <http://www.nies.go.jp/impact/jp_quest.html>, (accessed 2015. 8. 9). (in Japanese)
- 24) Y. Honda, K. Takahashi: Health Effect of Heat Stress, AIRIES, Vol.14, No.2, pp.257-262, 2009. (in Japanese)
- 25) K. Tamura, Y. Matsumoto, K. Sasaki, T. Tsubaki: Global Warming and Air Pollution: The Influence on the Photochemical Oxidant Concentration and the Excess Death Risk, AIRIES, Vol.14, No.2, pp.271-277, 2009. (in Japanese)
- 26) S. Yamazaki, M. Shima, M. Ando, H. Nitta: Modifying Effect of Age on the Association between Ambient Ozone and Nighttime Primary Care Visits Due to Asthma Attack, J Epidemiol, 19(3), pp.143-151, 2009
- 27) K. M. Shea, R. T. Truckner, R. W. Weber, D. B. Peden: Climate Change and Allergic Disease, Journal of Allergy and Clinical Immunology, Vol.122, Issue3, pp.443-453, 2008.9
- 28) T. Itoigawa: The Effect of Measures for Preventing Heatstroke: Efforts of Municipality, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No.716, pp.993-1000, 2015.10 (in Japanese)
- 29) Y. Okano, T. Ihara, Y. Genchi: Evaluation of Environmental Impacts on Disturbed Sleep by Nighttime Urban Heat Island Phenomena Using Surveys via the Internet, Journal of Heat Island Institute International, Vol.3, pp.22-33, 2008. (in Japanese)
- 30) H. Fujii, S. Fukuda, D. Narumi, T. Ihara, Y. Watanabe: Fatigue and Sleep under Large Summer Temperature Differences, Environmental Research, Vol.138, pp.17-21, 2015
- 31) S. Fukuda, T. Ihara, Y. Genchi, D. Narumi: Japanese Sleep Disturbance and Fatigue Disability Weights in Evaluating the Effects of Increasing Temperatures on Health by a Life Cycle Approach, International Journal of Life Cycle Assessment, No.18, pp.1089-1097, 2013.2
- 32) N. Itsubo, A. Inaba (Editor): Life Cycle Environmental Impact Assessment Method, Japan Environmental Management Association for Industry, 2005. (in Japanese)
- 33) T. Ihara, Y. Genchi: Environmental Impact Assessment of Urban Heat Island Phenomena Based on Endpoint-type Life Cycle Impact Assessment Methodology, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No.634, pp.1407-1415, 2008.10 (in Japanese)
- 34) World Health Organization: Global Burden of Disease 2004 Update - Disability Weights for Diseases and Conditions, 2004

- 35) M. E. A. Stouthard et al.: Disability Weights for Diseases in the Netherlands, Amsterdam: Inst. Sociale Geneeskunde, 1997.
- 36) R. Müller-Wenk et al.: Attribution to Road Traffic of the Impact of Noise on Health, Environmental Series, No.339, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), 2002.
- 37) S. Yasuoka, M. Akai, T. Ariga: Proposal of Heat Stroke (Heat Disorder) 1 to 3 Degree Classification: Clinical Significance of New Classification of Heatstroke, Emergency Medicine, Vol.23, pp.1119-1123, 1999.9 (in Japanese)
- 38) National Institute of Environmental Studies, Japan: Breaking Report of Heat Stroke Patients 2015, 2016 (in Japanese)
- 39) Y. Honda, M. Ono, A. Sasaki, I. Uchiyama: Shift of the Short-term Temperature-mortality Relationship by a Climate Factor - Some Evidence Necessary to Take Account in Estimating the Health Effect of the Global Warming, Journal of Risk Research, Vol.1, No.3, pp.209-220, 1998
- 40) A. E. Kunst, C. W. Looman, J. P. Mackenbach: Outdoor Air Temperature and Mortality in the Netherlands: A Time-series Analysis, Am J Epidemiol., Vol.37(3), pp.331-41, 1993.2
- 41) Y. Honda, M. Ono, A. Sasaki, I. Uchiyama: Relationship between Daily High Temperature and Mortality in Kyushu, Japanese Journal of Public Health, Vol.42, No.4, pp.260-268, 1995 (in Japanese)
- 42) M. Ono: Risk of Health Emerging Due to Climate Change Citizen's Role and Response, IGES-WHO International Symposium on climate change and health, 2009. (in Japanese)
- 43) Y. Doi: Creation of the Japanese Version of the Pittsburgh Sleep Questionnaire, Japanese Journal of Psychiatric Treatment, Vol.13, No.6, pp.755-763, 1998. (in Japanese)
- 44) M. Tanaka, S. Fukuda, K. Mizuno, K. Imai-Matsumura, T. Jodoi, J. Kawatani, M. Takano, T. Miike, A. Tomoda, Y. Watanabe: Reliability and Validity of the Japanese Version of the Chalder Fatigue Scale among Youth in Japan, Psychol Rep., 103(3), pp.682-690, 2008.
- 45) National Institute of Environmental Studies, Japan: Information on Heat Stroke Patients, available from <<http://www.nies.go.jp/gaiyo/archiv/risk8/index.html>>, (accessed 2018-02-15) (in Japanese)
- 46) Japan Emergency Medical Society Committee on Heat Stroke: Survey on Actual Conditions of Heat Stroke - Japan Emergency Medical Society Heatstroke STUDY 2012 Final Report -, JJAAM, Vol.25 No.11, pp.846-862, 2014. (in Japanese)
- 47) H. Kusaka, N. Iijima, T. Ihara, M. Hara, Y. Takane, S. Iizuka: Future Projection of Heat Stroke and Sleep Disturbance for 2070's August in Tokyo, Nagoya, and Osaka - Dynamical Downscale Experiments from Multiple CMIP3-GCMs and Health Impact Assessment by Mid-point Type Methodology, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No.693, pp.873-881, 2013.11 (in Japanese)
- 48) C. J. Murray et al.: Rethinking DALYs, The Global Burden of Disease, Harvard University Press, 1996.
- 49) H. Yoshikado: One Possible Factor Causing Recent Trend of Photochemical Oxidants, Journal of Japan Society for Atmospheric Environment, Vol.39, Issue4, pp.188-199, 2004. (in Japanese)
- 50) Y. Takahashi, S. Kawashima, S. Aikawa: Effects of Global Climate Change on Japanese Cedar Pollen Concentration in Air: Estimated Results Obtained from Yamagata City and its Surrounding Area, Japanese Journal of Allergology, Vol.45, Issue12, pp.1270-1276, 1996. (in Japanese)
- 51) I. Kurane: Effect of Global Warming on Infectious Diseases, AIRIES, Vol.14, No.2, pp.279-283, 2009. (in Japanese)

注

- 注 1) 重篤度(disability weight)とは疾患の重さを健康の場合を 0, 死亡の場合を 1 として, 0 から 1 の間で表現する変数であり, 様々な疾患に関する重篤度がデータベースとして整理されている³⁰⁾. 一例として挙げると, 食道閉鎖症(Oesophageal atresia)のように 0.85 と高い値もあれば, 喘息(Asthma)のように 0.043 と低い値もある. ただし, 重篤度の調査報告は癌や肺炎などの重篤性の高い障害が多く, 睡眠困難や疲労などの軽度な障害を評価するためには重篤度自体の設定に関する調査が必要となる場合が多い.
- 注 2) 本論文では広範に屋外気温と健康影響との関係の評価する. 後述する評価対象には医学的には疾患(disease)とは定義されない障害(disturbance)や症状

(symptom)のような影響も含むが, 本論文の表記上では全て「疾患」と定義する. 後述する DALY では器質的であれ精神的であれ健康状態から外れた場合に 0 以上の値を持つ.

- 注 3) DALY は発展途上国における健康損失を始め, 世界の健康負荷を計量することを目的に開発された指標であり, Murray et al.⁴⁸⁾が Global Burden of Disease³⁰⁾の研究の一環で WHO と共同開発した. DALY の 1 単位は人間 1 人の寿命が 1 年損失されることに相当する. なお, DALY は早死による生命損失年数(years of life lost, YLL)と障害による相当損失年数(years lived with a disability, YLD)の和と定義される. YLL は期待寿命と死亡年齢の差で算出する. YLD は障害の程度である「重篤度」と障害の期間である「有病期間」の積で算出する. したがって, 死亡に至る障害を評価するためには, 各疾患について期待寿命と死亡年齢の差を, 死亡に至らない障害を評価するためには, 重篤度と有病期間を設定する必要がある.
- 注 4) 1 章で述べたように, その他の影響として光化学オキシダント濃度の上昇に伴う喘息などの悪化, さらには花粉飛散量の増加によるアレルギー疾患の影響などが考えられる. しかしながらいずれも原因物質増加のメカニズムや影響に関わる因果関係などが十分に説明されていない⁴⁹⁾⁵⁰⁾. したがって, 本論文では冒頭でその可能性について指摘するにとどめ, 定量評価は今後の課題と位置づける.
- 注 5) 人得失法はある特定の健康状態を完全健康状態と比較したときの価値を回答者に尋ねて測定する手法である. たとえば, 完全健康者 10 人の急死を防ぐ保健施策 A と完全健康者 n 人が特定の健康状態に移行するのを防ぐ保健施策 B とが二者択一であると仮定し, 両施策が同等の価値をもつような n について回答者の意見を求める.
- 注 6) Müller-Wenk は夜間騒音による睡眠困難の重篤度を 28 種類の他の疾患との比較から定義している³⁶⁾. 調査の際に提示した疾患は歯周病(重篤度 0.01)から重度痴呆症(0.95)まで幅広く選択されている. 調査対象者は医療スタッフ 41 名であり, 得られた値は算出平均で 0.055 (CI95%:0.071-0.039)であった.
- 注 7) 本調査で得られた重篤度はばらつきも大きく, インターネット調査であるため回答者の重篤度に関する知識が十分ではない可能性も考えられる. そのため今後はより丁寧な手続きを踏む人得失法など別の手段による結果と比較検証を行うなどが今後の課題として挙げられる.
- 注 8) 各記号は ICD-10 と対応している. なお, いずれも重篤度が同程度として評価されるが, 有病期間は異なるものであり, 結果として各疾患の DALY は全く異なる値となることに注意されたい. 例えば, 重度の視力障害は一般的には短期に回復するものではないが, III度の熱中症は早期に回復する可能性が高い.
- 注 9) 予備力とは「最大能力」と「平常の生命活動に必要な能力」の差を意味し, 老化が進行するほど予備力が低下することで, 平常以上の活動を必要とする事態が生じたときに対応が困難となる.
- 注 10) 刈り取り効果とはリスクに対して脆弱な人から死亡する可能性が高いことを表す比喩であり, リスクを取り除いた場合の平均余命も大きく変化しない.
- 注 11) 1 章で述べたように, 将来的には温暖化の進行によりデング熱のような生物媒介性感染症の影響拡大が懸念されるが, 現時点ではどのような感染症患者がどの程度増加し, 分布地域がどう変化するかについての理解は十分に進んでいない⁵¹⁾. そのため本論文では都市内で例年確実に発生する感染症のみを対象とした.
- 注 12) 一部医療機関による抜粋調査の対象となる感染症については, 報告医療機関と地域内の全医療機関との比率を用いて全数を予測した.
- 注 13) 気温変化が感染症に及ぼす影響のメカニズムは未だ解明されていないものが多く, 本論文で得られた相関関係も表面上の関係であり, 実際は気温のみならず社会的活動などが影響を与えている可能性があることに留意する必要がある.
- 注 14) 各感染症については比較的症状の近い疾患の重篤度が GBD に掲載されていることもあり, 本論文ではそれらとの比較から決定したが, 今後の課題として 3 章で示した熱中症と同様に, 医者に対するアンケートや専門家パネルなどのプロセスを経て重篤度を決定することが厳密には求められる.
- 注 15) ここで評価された熱中症発症数はあくまでも救急車により医療機関に搬送された数であり, 直接医療機関に受診した, あるいは受診しなかった患者も多く存在すると考えられるがそれらの把握は困難である. 多くは軽症であると予想され, 疲労評価に含まれる可能性も考えられる.
- 注 16) DALY の評価パラメータに関して, 屋外気温や人口の過去から現在にかけての変化は確実性が担保される. また, 重篤度や有病期間は不変として扱われる. 一方で, 気温感度(疾患人数)については社会システムや人口年齢構成の変化に伴って過去から現在にかけてはもちろんのこと, 将来的にも変化する可能性が考えられる. 評価結果について十分な正確性を担保するためにも, 気温感度自体の時代変化や予測手法の確立が今後の課題として位置づけられる.
- 注 17) Fig. 6 および 7 からわかるように, 睡眠困難および疲労には屋外気温に依存しない一定被害が存在する. 本論文の目的は屋外気温変化と健康影響との関係であるため, 5 章の被害分析では気温に依存する被害量のみを評価対象とする.

COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE INFLUENCE OF OUTDOOR TEMPERATURE CHANGE ON HUMAN HEALTH AROUND THE URBAN AREA

Daisuke NARUMI^{*1}, *Tomohiko IHARA*^{*2}, *Sanae FUKUDA*^{*3}
and *Yoshiyuki SHIMODA*^{*4}

^{*1} Assoc. Prof., Graduate School of Environmental and Information Sciences, Yokohama National University, Dr.Eng.

^{*2} Assoc. Prof., Dept. of Environment Systems, University of Tokyo, Dr.Eng.

^{*3} Prof., Dept. of Health and Welfare, Kansai University of Welfare Sciences, Dr.Med.

^{*4} Prof., Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr.Eng.

Recently, increasing urban temperatures due to the Urban Heat Island (UHI) effect and Global Warming (GW) have been remarkable in some Japanese metropolises. The UHI effect and GW not only cause temperatures to rise, they also have other diverse impacts on urban dwellers. Therefore, it is important to understand the effect of temperature increase on urban dwellers to take action for preventing the occurrence of adverse impact. In this regard, the authors have shown the overall perspective of the effect of temperature change on urban dwellers by relation diagram, and evaluated the influence on energy, resources, health, air pollution etc. as much as possible quantitatively.

This paper aims to comprehensively and quantitatively evaluate the impact of urban outdoor temperature change on human health in Osaka Prefecture, based on the data accumulated by the authors and the results of past researches, conducted an annual evaluation from fatal severe to relatively mild impact. Specifically, based on the concept of endpoint-type life cycle impact assessment method, human health impact due to various diseases was integrally evaluated using DALY (disability-adjusted life year). The evaluated diseases were heat / cold stress and hyperthermia as fatal severe effect, infections such as Herpangina as relatively severe effect, sleep disturbance, fatigue and mild heatstroke as a relatively mild effect. The time range of the evaluation was from 1967 to 1977 (1970s) as the base period, from 1987 to 1997 (1990s), further from 2007 to 2017 (2010s) over the past 40 years.

The results of this research are described below.

- 1) With respect to the disability weight that is indispensable for the evaluation of DALY, the value of mild heatstroke was determined by questionnaire survey for 70 physicians with reference to Müller-Wenk's method. The average value was 0.081 for Grade I, 0.237 for Grade II and 0.463 for Grade III.
- 2) The average comprehensive value of DALY for annual evaluation was particularly remarkable increase in the period from the 1990s to the 2010s, it was about four times as much as the change from the 1970s to the 1990s.
- 3) The maximum comprehensive value of DALY throughout each period was recorded in 1994, this indicate slightly different from secular trend of average value and the influence of sudden and intense heat was strong.
- 4) The minimum comprehensive value in the 2010s was almost the same as the average value of the 1970s, this showed that DALY increased steadily and extremely low situation did not occur.
- 5) The comprehensive value of DALY increased from May to October due to the temperature change of 40 years but decreased from November to April. In other words, urban temperature change had a negative impact on health from the early summer to the early autumn, while a positive impact from late autumn to spring.
- 6) The largest increase of DALY was seen in August, especially deterioration in sleep disturbance, fatigue, death by heat stress and death by hyperthermia showed large impact. On the other hands, the largest decrease was seen in February, mitigation in fatigue and cold stress showed large impact. The annual total value of DALY increased by 2,854 [DALY].
- 7) The influence of sleep disturbance and fatigue had a large impact on the change in DALY. Although the disability weight and the disease period are small for these disease, these influences are indispensable to evaluate the entire of human health from the macro viewpoint of urban area.

(2018年4月3日原稿受理, 2018年10月22日採用決定)