

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360437

研究課題名(和文) 暑熱環境におけるエネルギーの消費による人間健康の改善効果の評価に関する研究

研究課題名(英文) Research on assessing the effect of energy consumption on improving human health under hot environmental conditions

研究代表者

玄地 裕 (Genchi, Yutaka)

独立行政法人産業技術総合研究所・安全科学研究部門・研究グループ長

研究者番号：50292777

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円、(間接経費) 4,260,000円

研究成果の概要(和文)：睡眠不足のような気温上昇による健康影響を緩和するには冷房のようにエネルギーが必要になる。そこで、健康影響とエネルギー消費をバランスさせる対策の方向性を検討した。医学的知見の整備、疲労・睡眠に関する実態調査を実施し、高温化に伴う健康影響と運動習慣、空調等の関係を解析した。その結果、睡眠困難の改善対策は単純ではなく、冷房運転方法、その人の健康状態、睡眠と疲労の関係を総合的に考慮する必要があることを明らかにした。また震災に伴う節電対応と都市気温の関係を推定した。その結果、停電時の室温上昇が復電時の冷房需要増大を招くため、輪番停電による最大電力削減は見込めないことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Energy must be consumed, e.g. for air conditioning, to mitigate impacts of air temperature increases on health, such as sleep disturbance. We examined the direction of a measure that balances health impacts and energy consumption. Medical knowledge about health impacts was investigated, surveys on fatigue and sleep disturbance were conducted, and the relations of air temperature rise with health impact, fitness habits, and air-conditioning use were analyzed. Results show that the measure to mitigate sleep disturbance requires comprehensive consideration of air conditioning use, health conditions, and the relation between sleep and fatigue. We also assessed the effects of measures to reduce peak electricity demand in summer. Results indicate that scheduled power outages are unlikely to reduce peak electricity demand because the rise in room temperature during the power outage would result in a larger increase in electricity demand by air conditioning when the power supply is returned.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：エネルギー ヒートアイランド 健康影響 冷房 睡眠困難 疲労 重篤度

## 1. 研究開始当初の背景

政府の新成長戦略では、グリーン・イノベーションとライフ・イノベーションが謳われている。

両者の推進は、低炭素社会（エネルギー消費量の削減）と健康維持増進社会（健康影響の削減）の両立につながると見られているが、一方で、人間健康への影響を減らすためにはエネルギー消費が必要な場合もある。都市の気温上昇への対応はその典型であろう。ヒートアイランド現象や地球温暖化に伴う都市気温の上昇は、熱中症や睡眠障害の増加など、人間健康に被害をもたらす。気温を下げる対策（緩和策）の導入は、エネルギー消費と健康被害をともに減少させるため、望ましいと考えられているが、都市気温を低下させるほど大規模にヒートアイランドなどの対策を導入することは難しい。そのため、現実には、都市住民はエネルギー消費増につながる各種の空調装置（適応策）を利用して熱中症や睡眠障害を防いでいる。ここに、エネルギー消費量と健康影響の間のトレードオフが存在すると考えられる。しかし、これまで気温上昇に伴う人間健康の被害を総合的に定量化した例はほとんどなく、定量化した値が妥当かどうかについても全く評価されていなかった。また、睡眠障害（睡眠困難）は、健康被害の中で被害量が最も大きいと予測され、対策の導入が特に望まれるが、どのような要因で発生するかについて、明らかではなかった。

## 2. 研究の目的

上記の背景を元に、本研究は、都市気温上昇に対する適応策のエネルギー消費量と健康影響のトレードオフを評価し、エネルギー消費量と健康影響の双方にとって望ましい適応策と緩和策の組み合わせ方の指針を示すことを大きな目的とした。

しかし、平成 23 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災が、特に東日本の夏のエネルギー需給状況を一変させたため、社会的な要求を考慮して電力供給量低下時の効果的な空調節電対策について研究スコープに入れて、以下のように研究目的と項目を修正した。

### (1) 都市高温化に伴う健康影響の定量化と空調などの影響要因の解析

#### 重篤度(disability weight)の定量化

健康被害を定量化する際に重要な睡眠障害、疲労、熱中症の重篤度を、内科医、および睡眠、疲労、精神科、熱中症の専門医に実施したインタビュー結果を基に整備する。

#### 急性死亡、疲労、睡眠障害と気温との関係の調査

都市気温の上昇に伴う人間健康への被害のうち大きいと考えられる急性死亡（熱中症や持病の悪化など）および睡眠困難の被害量を、既往研究を踏まえて、新たに定量化し、定量化した値の妥当性を評価する。また、睡

眠困難に関しては、発生する要因を特定する。さらに、複数の健康影響（睡眠、疲労など）と冷房の関係についての影響を定量化する。

屋外気温が人間健康に与える影響に関する通年包括的評価

を基に、都市域の暑熱化に伴う「睡眠障害」や「疲労」の発生について、死亡に至る重篤障害から通院不要な軽度障害までを包括的に評価し、ヒートアイランド現象による健康リスクを都市全体のマクロな視点から経済的損失量として評価する。

### (2) 震災に伴う電力需給状況に対応するための節電対策と都市気温などへの影響推定

震災に伴い、全国的に電力供給量が低下し、効果的な節電対策が望まれる。気温と電力消費には、空調電力消費を通じて、密接な関係があることから、節電対策実施時の都市気温変化について明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 重篤度整備

健康被害を定量化する際に重要な睡眠障害、疲労、熱中症の重篤度を、内科医、および睡眠、疲労、精神科、熱中症の専門医に実施したインタビュー結果を基に整備した。方法は次の 2 段階で実施し、初めにそれぞれの症状を詳細に記述し、次に内科医、および睡眠、疲労、精神科、熱中症の専門医に他の病気の重篤度を症状の軽い順に記述したリストを示し、睡眠障害、疲労の位置をエキスパートジャッジにより求め、重篤度を定めた。

### (2) 急性死亡、疲労、睡眠障害と気温との関係の調査

都市域を対象に、統計解析により対象とした健康影響と気温との関係調査を行った。

急性死亡に関しては、2000-2010 年の厚生労働省人口動態統計調査の死亡票と気象庁観測気温（気象台およびアメダス）を用いた。母数の人口データには国勢調査を用い、国勢調査非実施年の人口は住民基本台帳人口を用いて推測した。以上より、大阪府における最高気温と死亡率との関係を解析した。

睡眠困難に関しては、2006 年 9 月および 2007 年 7-8 月に研究代表者らが実施した約 1000 名の疫学調査結果と東京都環境科学研究所による空間的に詳細な観測気温（METROS）を用いた。上記より、東京都区部における 0 時気温と睡眠困難罹患率の関係を統計的に解析した。合わせて、睡眠困難の発生要因を探るため、個人属性別の解析も実施した。

### (3) 疲労、睡眠に関する夏季調査

東京都内と大阪在住の住民を対象として疲労、睡眠に関する調査を実施した。

大阪では、女性 30-40 代を対象に、2011 年、2012 年の夏季に暑さの主観的・客観的指標を用いた調査を実施した。

東京都内に対しては、30代～60代男性に疲労、睡眠と空調利用に関するアンケート、および2013年夏季3週間にわたり、女性113人を対象にエアコンの利用状況が睡眠に及ぼす影響を詳細に評価するための記述式アンケート調査を実施した。

睡眠の状況に関しては、研究代表者らが開発した過去1か月の睡眠状況を問う日本語版ピッツバーグ睡眠質問票(PSQI-J)を応用したSleep Quality Index for Daily Sleep(SQIDS)を用いて評価した。疲労の状況に関しては、Chalderの疲労尺度日本語版(DCFS)を用いた。

#### (4)屋外気温が人間健康に与える影響に関する通年包括的評価

研究分担者らの手法を踏襲し、さまざまな疾患による健康被害を障害調整生命年(disability-adjusted life year, DALY)を用いて同じ基準で評価した。さらに日本版被害算定型影響評価手法(LIME)に基づき、被害の大きさをその被害を回避するための支払意思額で表現することで貨幣換算した。

死亡に至らない疾病をDALYで評価するには、YLDの構成要素である重篤度と有病期間(average duration of the case until remission or death)を各疾病について設定する必要がある。ここで評価対象とする睡眠問題、疲労、熱中症などについての重篤度は、の結果を用いた。有病期間については、臨床での平均罹患期間を基に算出した。

#### (5)震災に伴う電力需給状況に対応するための節電対策と都市気温などへの影響推定

研究分担者らが開発した街区気温と建物の空調需要の相互関係を検討可能な都市気象-ビルエネルギー連成シミュレーションモデル(AIST-CMBEM)を用いて、エアコンの電力消費を抑える節電対策とともに、いくつかのヒートアイランド対策を取り上げ、家庭と業務に由来する最大電力需要への影響をシミュレーションにより定量化した。

## 4. 研究成果

### (1)重篤度の整備

睡眠障害については、環境性、ピッツバーグ睡眠質問票の閾値に基づく重篤度が得られ、その範囲は0.069～0.101の範囲であった。同様に、疲労については短期、慢性、レベル～の別で重篤度が得られ、その範囲は0.050～0.459であった。熱中症の重篤度は重症度～で0.01～0.05の範囲であった。

### (2)急性死亡、疲労、睡眠障害と気温との関係の調査

急性死亡に関しては、年間データを一括して解析すると、至適気温30-33を境に、高温側も低温側も同程度、死亡率が上昇しているように見えた。しかし、月別に解析すると、

高温側が1上昇につき百万人あたりで0.4人死亡者が増加するのに対し、低温側では死亡リスクの増大はほとんど見られないことがわかった。ただし、死因別に評価すると、熱中症は高温側死亡リスクの1割にも満たなかった。

睡眠困難に関しては、睡眠困難罹患率を平滑化スプライン手法で直接推定する手法は、従来おこなわれていたSQIDS総合得点の平均値および標準偏差を折れ線線形モデルで回帰後に、正規分布を仮定して睡眠困難罹患率を推定する手法に比べて、睡眠困難罹患率のRMSEを0.01改善させ、精度良く推測できた。折れ線線形モデルで直接推定する手法と比べてもRMSEは小さく、ロバストな回帰が得られた。今回の手法は従来の手法よりも睡眠困難罹患率を小さく見積もるが、従来の予測結果の4割程度であり、東京の気温上昇に伴う健康被害として、なお睡眠困難が最重要であるといえた。

個人属性別に睡眠の質を解析したところ、喫煙、飲酒(泥酔状態>飲酒なし>酔いの自覚がない程度・ほろ酔い状態)、疲労・ストレス、平日は有意に睡眠の質を悪化させた。気温との関係性を評価すると、気温と無関係にもともと睡眠困難であるグループは気温の影響を受けにくかった。もともと睡眠困難でないグループは、気温の影響を受けたが、空調を使用している場合は気温の影響を受けにくかった。

### (3)疲労、睡眠に関する夏季調査

大阪での調査において、活動度計の計測結果および疲労得点と実測温度及びアメダス平均気温(大阪市のものを使用)との関係を整理した。その結果、疲労得点は、午後2時の気温(実測)とは、相関係数をもとめると負の相関を示したが、アメダスによる平均気温との関係は認められなかった。活動度計計測結果による睡眠時間は、気温が低いときに睡眠時間が長くなる傾向が明らかになった。また、自律神経機能が時期により変化する結果が得られ、交感神経への影響も考慮する必要性が示唆された。睡眠の質が暑さで悪くなるということは、身体が暑さに順応しにくく、夜間に副交感神経機能がうまく働かないと予測された。そこで、順応能力が比較的高いと考えられる継続的運動習慣のある女性を対象に冷房の使用と睡眠、疲労との関係を調査した。その結果、日々の疲労の得点は、8-10月のエアコン非使用群で有意に高いことが示されたが、エアコン非使用群では同期間に疲労得点の変化はほとんど認められなかった。このことから、運動習慣の効果は認められなかったが、エアコンの使用は、運動している人でも気温変化による慢性疲労への影響をうけやすい可能性が示唆された。

東京都内の調査では、夏季エアコン利用は睡眠の質をよくするが設定温度の影響も大きいことが明らかになった。また、東京でも

普段からエアコン利用に積極的な回答者は外気温上昇に伴い疲労蓄積が起こるという統計的に有意な結果が得られた。

エアコン利用が必ずしも健康影響の改善につながらない結果が得られたため、エアコンの使用状況と睡眠の関係を 2013 年度に調査した。対象者は日頃の睡眠中の空調行動により、「睡眠中はエアコンを使用しない（属性 1：35 名）」、「睡眠中エアコンをタイマー運転させる属性（属性 2：41 名）」、「睡眠中エアコンを常時使用する（属性 3：36 名）」に大別される。図 1 に日々の実際の空調行動別に評価した空調行動と睡眠質の関係を示す。就寝から起床までに、一度でも冷房稼働・停止があった場合は「冷房断続使用」とする。その結果、「扇風機使用」の平均得点が 6.1 点、「冷房断続使用」が 6.3 点となり、これらのグループで得点が高い傾向となった。特に、「冷房断続使用」は、「冷房連続使用」と「何も使用せず」との間に統計的な有意な差がみられた。このことから、冷房の断続的使用は睡眠に悪い影響を及ぼす可能性が考えられた。

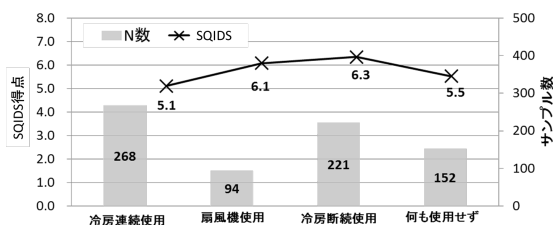


図 1：日々の実際の睡眠時空調行動と睡眠質との関係

#### (4) 屋外気温が人間健康に与える影響に関する通年包括的評価

大阪府において、過去 35 年間の気温上昇によって生じる人間健康全般に与える影響を DALY を基にして各疾病の被害量を金銭価値で評価した結果を図 2 に示す。5 月から 10 月には気温上昇に伴って被害量が増加する一方で、11 月から 4 月にかけては被害量が減少することがわかる。夏季の暑熱影響に着目すると睡眠や疲労の影響が大きく、次に熱ストレスによる死亡（65 歳以上）が大きな値を示している。特に 6 月や 9 月の増加量が大きく、暑熱化に伴う健康被害が初夏から晩夏まで長期化していることがわかる。通年では 207 億円[Eco-Index Yen]の健康被害が増加している。疾患別に被害金額を比較すると、睡眠問題の影響が 212 億円[Eco-Index Yen]で最大となり、続いて疲労の 90 億円[Eco-Index Yen]と、夏季に生じる軽度な暑熱影響が大きな損失を与えている。なお、寒冷ストレスについては 120 億円[Eco-Index Yen]の減少となり、過去 35 年間の気温上昇によって健康被害を緩和する効果も生じている。

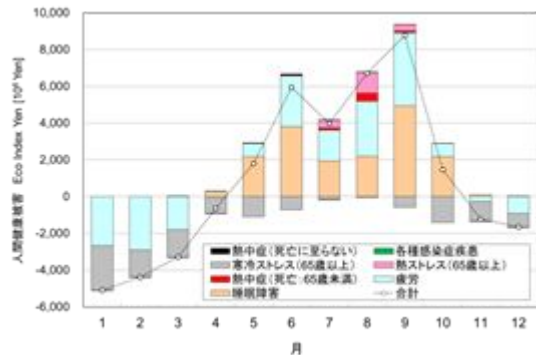


図 2：大阪府における 35 年間の暑熱化に伴う健康被害（包括的評価）

#### (5) 震災に伴う電力需給状況に対応するための空調節電対策と都市気温などへの影響推定

各種の夏季節電対策が、最大電力需要や室内温度等を与える影響・効果を定量化した。全員実施を想定して、猛暑日を対象に、空調需要が見込まれる業務・家庭の 2 部門の電力需要を同時に評価した（産業部門を除く）。その結果、以下の可能性が示唆された。

- ・3 時間ずつの輪番停電を実施しても最大電力需要削減効果はほとんど見込めない。これは、戸建住宅を中心に屋内温度上昇により冷房需要が増大するためである。

- ・打ち水は、温熱環境は緩和するが節電効果は見込めない。

- ・窓面の日射遮蔽や空調設定温度の見直しは、それぞれ家庭で 1 割弱、業務で 5%弱最大電力需要を削減する効果が見込まれる。

- ・サマータイムなど節電対策によっては運用次第で最大電力需要をかえて引き上げてしまう可能性がある。

- ・窓日射遮蔽、通風換気、空調 28 設定と事務所の節電を全員が実施することで 15%削減を達成できると推測される。

#### (6) 成果のまとめと課題

研究実施期間に得られた結果を取りまとめ、エネルギー消費・健康影響の観点から以下のことを明らかにした。

夏季の気温上昇は睡眠困難に大きく影響する

エネルギー消費による環境改善(冷房使用)のためには、少なくとも冷房運転方法、本人の健康状態、睡眠と疲労の関係などを総合的に考慮して実施する必要がある

望ましい適応策・緩和策の導入には、大局的には を考慮すべきという方向性を示したが、今後、 を考慮した上で個別の状況に対する適応策・緩和策考慮のためのさらなる検討が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Fukuda S, Ihara T, Narumi D, Genchi Y.

Japanese sleep disturbance and fatigue disability weights in evaluating the effects of increasing temperatures on health by a life cycle approach. The International Journal of Life Cycle Assessment, 査読有, Vol.18(5), 2013, 1089-1097  
DOI:10.1007/s11367-013-0551-y

〔学会発表〕(計 20 件)

鳴海大典、小暮香織、環境工学協働による地球環境対応型都市づくりに関する体系的研究 その35:地域スケールを対象とした暑熱影響の定量化、2014年度日本建築学会大会、2014年9月、兵庫県神戸大学

井原智彦、本瀬良子、玄地裕、非線形回帰モデルによる気温が睡眠に与える影響の推定、第9回日本LCA学会研究発表会、2014年3月、東京都 芝浦工業大学

福田早苗、疲労の強さを生体反応でどこまで測定できるか?日本心理学会第77大会、2013年9月 北海道 札幌コンベンションセンター

鳴海大典、福田早苗、井原智彦、玄地裕、都市における野外気温上昇が睡眠および疲労に与える影響、2013年度日本建築学会大会、2013年8月 北海道 北海道大学

福田早苗、慢性疲労症候群の実態調査と客観的診断基準の再検証、第9回日本疲労学会総会・学術集会、2013年6月 秋田県 秋田県総合保健センター

藤井比佐子、福田早苗、渡辺恭良、栄養教育による睡眠と疲労改善効果、第9回日本疲労学会総会・学術集会、2013年6月 秋田県 秋田県総合保健センター

井原智彦、玄地裕、都市域における気温上昇の環境影響評価、第8回日本LCA学会発表会、2013年3月、滋賀県 立命館大学

井原智彦、玄地裕、東京都区部における気温上昇に伴う睡眠障害の定量化、第51回日本生気象学会大会(松本)、2012年11月、長野県 キッセイ文化ホール

Fukuda S., Fujii H., Narumi D., Ihara T. The effect of temperature changes on health status in urban city. The 8<sup>th</sup> International Conference of Urban Climate, Oct. 2012, Dublin, Ireland

井原智彦、玄地裕、福田早苗、鳴海大典、居住環境における健康維持増進に関する研究 その58 公的統計を用いた外部環境と健康影響の関係解析、日本建築学会 2012年度大会(東海)、2012年9月、愛知県 名古屋大学

福田早苗、鳴海大典、井原智彦、玄地裕、居住環境における健康維持増進に関する研究 「その57、客観指標に基づく

外部環境が睡眠・疲労に与える影響に関する評価」2012年度大会日本建築学会、2012年9月 愛知県 名古屋大学  
秋山雄、鳴海大典、福田早苗、井原智彦、玄地裕、居住環境における健康維持増進に関する研究 「その56、主観指標に基づく外部環境が睡眠・疲労に与える影響に関する評価」2012年度日本建築学会大会、2012年9月 愛知県 名古屋大学  
福田早苗、中富康仁、山口浩二、渡辺恭良、倉恒弘彦、慢性疲労症候群の実態調査、第8回日本疲労学会総会・学術集会、2012年6月 東京都 国立スポーツ科学センター

Tomohiko Ihara, Yoshinori Shigeta, Yukitaka Ohashi, Yutaka Genchi. Change in Sleep Quality by Outdoor Air Temperature Rise. Worldsleap 2011, Oct 2011, Kyoto, Japan

Fukuda S., Fujii H., Narumi D., Ihara T., Watanabe Y. Poor Sleep Status increases the risk fatigue. World sleep 2011, Oct. 2011, 京都府 京都国際会議場

Fujii H., Fukuda S., Narumi D., Ihara T., Watanabe Y. Effect of air conditioner usage on fatigue and sleep quality. World sleep 2011, Oct. 2011, 京都府 京都国際会議場

福田早苗、精神神経内分泌免疫研究の展開 - 諸領域における生理指標を利用した研究-医学研究の立場から、日本心理学会第75回大会、2011年9月、東京都 日本大学文理学部

玄地裕、井原智彦、亀卦川幸浩、AIST-CM-BEMによる夏季空調節電対策の効果検討、日本ヒートアイランド学会第6回全国大会、2011年7月、茨城県 筑波大学

福田早苗、中富康仁、山口浩二、稲葉雅章、渡辺恭良、倉恒弘彦、「慢性疲労症候群の病態及び実情について」シンポジウム 「慢性疲労 up to date」、第7回日本疲労学会総会・学術集会、2011年5月 愛知県 名古屋大学

藤井比佐子、福田早苗、鳴海大典、井原智彦、渡辺恭良、健常人における疲労と睡眠の関連、第8回日本疲労学会総会・学術集会、2011年5月、愛知県 名古屋大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
夏季における計画停電の影響と空調節電対策の効果（第2報（速報））  
<http://www.aist-riss.jp/main/modules/product/setsuden/201107/main.html>  
（参照日：2014年6月11日）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

玄地 裕（GENCHI, Yutaka）  
産業技術総合研究所・安全科学研究部門・  
研究グループ長  
研究者番号：50292777

### (2) 研究分担者

井原 智彦（IHARA, Tomohiko）  
産業技術総合研究所・安全科学研究部門・  
研究員（東京大学・新領域創成科学研究  
科・准教授）  
研究者番号：30392591

福田 早苗（Fukuda, Sanae）  
大阪市立大学・医学系研究院 特任講師  
研究者番号：50423885

鳴海 大典（NARUMI, Daisuke）  
横浜国立大学・環境情報研究院 准教授  
研究者番号：80314368

### (3) 連携研究者

なし