

基礎研 レター

暑熱ストレスの労働への影響

東アジアのいくつかの研究で労働生産性の減少が指摘されている

保険研究部 主席研究員 篠原 拓也
(03)3512-1823 tshino@nli-research.co.jp

1—はじめに

気候変動問題への注目度が世界的に高まっている。地球温暖化により、ハリケーンや台風、豪雨、海面水位の上昇、山林火災、干ばつなど、自然災害の形で、極端な気象の影響があらわれつつある。

気候変動は、自然災害のほかにも、人間社会にさまざまな影響を与える。例えば、生命や心身の健康への影響をはじめ、水資源・食糧・エネルギーの安全保障問題、脱炭素社会に向けた車や建築物の省エネ化などだ。

地球温暖化は暑熱ストレスとして、暑熱期の労働にも影響を与える。夏場の労働生産性の低下や、労働災害の発生などである。日本では、これまでも夏場の暑さ対策が行われてきた。2005年には、「クールビズ」として、ノーネクタイ、ジャケットなしの軽装がスタートした。2024年は、「デコ活」¹(環境省が展開する脱炭素につながる新しい豊かな暮らしを創る国民運動)の一環として、室温の適正化とその温度に適した軽装の取り組みが啓発されている。²

ただし、暑熱ストレスがさらに強くなれば、クールビズやデコ活での対処にも限界が生じるものと考えられる。各国の研究者は、暑熱ストレスが労働に与える影響の研究を進めている。

本稿では、そのなかで日本との類似性が高いとみられる東アジアの研究をいくつか概観していく。

2—文献の選定

気候変動が労働に与える影響の研究は数多い。その中から、イタリアの研究者らが行った文献レビューをベースに、研究を取り上げていく。

1 | イタリアの研究者らが行った文献レビューは、気候変動と労働のグローバルな関連を抽出している

気候変動問題と労働生産性を関連づける調査や研究は、各国の研究者によって行われている。そのパターンとして、労働者に対するアンケート等を通じた実地調査、労働者の健康面に着目した医療費

¹ デコ活は、脱炭素(Decarbonization)と、環境に良いエコ(Eco)を含む“デコ”と、活動・生活を意味する“活”を組み合わせた新しい言葉。2023年7月13日に選定された。

² 「令和6年度クールビズについて」(環境省, 報道発表資料, 2024年4月23日)より。

分析、さまざまな経済指標を用いた労働時間や労働生産性への影響の研究などが挙げられる。また、調査範囲として、特定の地域や都市を対象とするものもあれば、全世界や複数の地域を対象として相互比較を行うものもある。そして、こうした各種の研究の結果をまとめてメタ分析を行うものもある。

今回は、いくつかの研究手法をまとめたものとして、イタリアの研究者らが行った文献レビュー³をもとに見ていくこととしたい。この文献レビューでは、レビュー対象の選定に際し、2010年から2022年4月までに発表された論文等を2つの書誌データベース(Web of ScienceとPubMed)から抽出している。抽出は、“Hot Temperature” “productivity”等のキーワードをもとに行われた。この他に、以前のレビューから特定された論文等も加え、潜在的に関連性のある8151件が選ばれた。このうち全文の適格性などを評価して、最終的に89件がレビューの対象とされた。内訳は、32件の実地調査、8件の医療関係費の推計、49件の経済調査に関する先行研究となっている。アジアや欧米を中心に、世界各地の先行研究が含まれており、気候変動と労働のグローバルな関連を抽出したものとなっている。

2 | 東アジアの研究に着目する

この文献レビューの対象論文は多岐に渡るため、すべてを見ていくことは簡単ではない。本稿では、日本での気候変動と労働の関連性の参考となるよう、気候や労働条件などの面で日本との類似性が高いと考えられる東アジアでの調査・研究に着目することとしたい。

文献レビューでは、東アジアは2件の実地調査、1件の医療関係費の推計、5件の経済調査に関する先行研究の計8件(下表)が示されている。国・地域別には、中国5件、香港1件、韓国1件、日本1件、となっている。次章では、これらの文献を概観していく。⁴

図表1. 文献レビュー

分類	国・地域	時期	調査対象の作業
実地調査	中国(北京)	2014年夏	男性の鉄筋コンクリート建設 作業員16人
	香港	2016年8~9月	男性の建設労働者14人
医療関係費の推計	中国(広州)	2011-12年	全ての作業
経済調査	韓国	1981-2005年をベースに、2011-40年、 2041-70年、2071-2100年を予測	建設・農林水産業の屋外作業
	中国	1981-2010年をベースに、2021-50年、 2071-99年を予測	屋外作業
	日本(東京、大阪)	2000年をベースに、2030、50、70、90年 を予測	屋外作業
	中国(南京)	2013年における14日間の熱波襲来期	全ての作業
	中国	1997-2005年をベースに、2030、40、90 年を予測	全ての作業

※ 注記3に記載のペーパーをもとに、筆者作成

³ Manuela De Sario, Francesca Katherine de' Donato, Michela Bonafede, Alessandro Marinaccio, Miriam Levi, Filippo Ariani, Marco Morabito, and Paola Michelozzi, Occupational heat stress, heat-related effects and the related social and economic loss: a scoping literature review, Workclimate Collaborative Group, Front Public Health. 2023; 11: 1173553. Published online 2023 Aug 2. doi: 10.3389/fpubh.2023.1173553

⁴ なお、世界各国の影響比較を目的として、グローバルに調査を行い、そのなかで東アジアについても調査を行っている研究もあるが、本稿ではこれらは取り上げない。

3—文献のレビュー

前章の文献について、順番に概観していこう。(文献名等については、(参考資料)に記載。(3. ~10.))

1 | 北京での実地調査：WBGT が 1°C 上昇すると、直接作業時間は 0.57% 減少し、遊休時間は 0.74% 増加

1 つ目の研究として、中国の北京市で 2014 年夏に行われた実地調査を見ていく。この調査では、市内の 2 つの鉄筋コンクリート建築プロジェクトに従事する 16 人の建設作業員(全員男性)が対象とされた。まず、暑さを示す WBGT(湿球黒球温度)データと、直接作業時間、間接作業時間、遊休時間等の労働生産性のデータを測定。そして、収集したデータを分析した。その結果、WBGT が 1°C 上昇すると、直接作業時間は 0.57% 減少し、遊休時間は 0.74% 増加する、との関係を得た。この結果から、建設業において高温環境は人体に暑熱ストレスを与え、労働生産性を低下させることが示されたとしている。

2 | 香港での実地調査：WBGT の上昇は直接作業時間の減少につながる

2 つ目の研究として、香港で 2016 年の 6~8 月に行われた実地調査を見る。この調査は、2 つの建設訓練所で行われ、14 人の建設作業員(全員男性)が対象とされた。まず、WBGT データと、作業員の心拍数を 5 秒間隔で計測した⁵。一方で、直接作業時間、間接作業時間、遊休時間を測定した。そして、直接作業時間を WBGT、最大心拍数割合、作業時間、年齢、飲酒習慣の 5 つの変数で重回帰分析する「建設労働生産性・暑熱ストレスモデル」(CLP-heat stress model)を作り、WBGT や心拍数等と生産性の関係を統計的に解析した。その結果、WBGT の上昇は直接作業時間の減少につながる、との関係を得た。また、統計的に、モデルが堅牢であることも示されており、予測にも利用できる、としている。

3 | 広州市での労働災害保険データ分析：労働災害の 4.8% は暑熱ストレスの限界を超える曝露に起因

3 つ目の研究は、中国の広州市で 2011~12 年に収集された、労働災害保険の支払データ(9550 件、2.8 億元(=4500 万米ドル))の分析に基づく。WBGT と労働災害の関係を、非線形回帰モデルにより定式化した。その上で、WBGT が暑熱ストレスの限界を超えた日における災害請求数と保険補償費用を計算した。その結果、WBGT が高くなるにつれて災害請求は増加し、労働災害件数の 4.8%(95%信頼区間 2.9%~6.9%)と、労働災害補償額の 4.1%(同 0.2%~7.7%)は、暑熱ストレスの限界を超える曝露に起因していることが示された。特に、男性、小規模企業勤務、低学歴の労働者は敏感だった。この結果から、暑熱ストレスは、労働災害の高いリスクと大きな経済的コストに寄与する可能性がある、としている。

4 | 韓国の暑熱と休息サイクルの分析：重労働を中心に、労働生産性に大きな負の影響を与える可能性

4 つ目の研究は、韓国で行われたものだ。屋外で建設業や農林水産業に従事する労働者を対象としている。WBGT と休息サイクルの関係をもとに、暑熱ストレスの労働生産性への影響を定量化している。1981~2005 年の夏期(6~9 月)を基準として、RCP8.5 と RCP4.5 のシナリオ⁶について、2011~40 年、2041~70 年、2071~2100 年における相対的な生産性低下を予測している。その結果、2071~2100 年には、中程度の負荷の作業では、RCP8.5 で 15.4%、RCP4.5 で 4.8% の生産性の低下。重労働の作業では、RCP8.5 で 26.1%、RCP4.5 で 12% の生産性の低下が予測された。この結果から、気候変動による暑

⁵ 作業員には、携帯型心拍測定ベルトを装着してもらった。

⁶ RCP は、Representative Concentration Pathways(代表的濃度経路)の略称。RCP の後の数値が大きいほど 2100 年における放射強制力(地球温暖化を引き起こす効果)が大きいことを表す。

熱ストレスは、重労働を中心に、屋外労働生産性に大きな負の影響を与える可能性がある、としている。

5 | 中国全域の WBGT と労働能力の分析：暑熱ストレスの激化により労働能力が著しく減少

5 つ目の研究は、中国全域を対象に行われたものだ。まず、中国を 8 つの地域に区分して、5 つの全球気候モデルをもとに、RCP8.5 と RCP2.6 に応じた 7、8 月の WBGT の将来予測を地域ごとに行った。一方、WBGT と労働能力 (labor capacity) の関係を、重労働については WBGT が 25°C を超過してから低下、軽労働については 30°C を超過してから低下するとの関係式を設定した。⁸ その上で、1981～2010 年を基準として、2021～50 年、2071～99 年における相対的な生産性低下を予測している。その結果、RCP8.5 のもとで、2071～99 年に中国の多くの地域で重労働の労働能力が 40% 以上減少。軽労働の労働能力は、中国南部と東部の地域を中心に、40～50% 減少すると予測された。この結果は、暑熱ストレスの激化により労働能力が著しく減少することを示している、としている。

6 | 東京・大阪の労働安全時間の分析：重労働制限日数は、2090 年代には 8 月の約 2/3 の日数に増加

6 つ目の研究は、日本の東京と大阪での研究だ。英語論文の概要をもとに研究を概観すると、次のとおりとなる。(和訳およびまとめは、筆者が行った。)

厚生労働省の熱中症予防ガイドラインに従い、多期間 (2000 年代、2030 年代、2050 年代、2070 年代、2090 年代) の気候予測⁹ から得られた毎時の湿球黒球温度 (WBGT) に基づいて、重労働と軽労働の「安全な時間」を推定した。¹⁰ 対象の都市は、東京と大阪。結果は、現在の気候では日中時間のほとんどが「軽労働安全」であるが、21 世紀末までに、これらの時間は 30～40% 減少すると予測されることを示した。重労働時間は 60～80% 減少すると予測され、その結果、重労働の安全な遂行に利用できる時間は 1 日平均 2 時間未満になる。「重労働制限日数」(昼間の WBGT 値が重労働の安全基準を超える日数) は、2000 年代の 5 日から、2090 年代には 8 月の約 2/3 の日数に増加すると予測される。

7 | 南京市での猛暑の影響調査：産業の相互依存性のため製造業やサービス業にも間接的損失が発生

7 つ目の研究は、中国の南京市で行われたものだ。まず、熱波がマクロ経済に与えるまでの枠組みとして、暑熱に関する環境研究、暑熱関連の超過死亡や労働生産性の損失に至る疫学研究、労働時間喪失につながる産業影響分析、産業価値の減少などのマクロ経済分析、の 4 つについて具体的な影響波及経路を示している。その上で、経路に応じた関係式を設定している。その結果、2013 年 8 月 5 日から 18 日にかけて南京で発生した 14 日間の熱波により、屋外作業の多い農業で 4.50%、鉱業で 4.22%、建設業で 4.20% の生産労働時間減少を招いた。さらにその影響は、産業の相互依存性のため、製造業で 0.69%、エネルギー供給業で 0.70%、サービス業で 0.67% の生産労働時間減少につながった。これに

⁷ 地球規模の温暖化の影響評価に関する国際プロジェクト ISI-MIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project, イージーミップ) で提供された GFDL-ESM2M、HadGEM2-ES、IPSLCM5A-LR、MIROC-ESM-CHEM、NorESM1-M を指す。

⁸ 重労働については $LC(\text{労働能力}) = 100 - 25 \times \max(0, \text{WBGT} - 25)^{2/3}$ 、軽労働については $LC = 100 - 25 \times \max(0, \text{WBGT} - 30)$ としている。

⁹ 動的ダウンスケールアプローチを用いて、GFDL-CM2.1、MRI-CGCM2.3.2a、CSIRO-Mk3.0 の 3 つの全球気候モデルによるアンサンブル気候予測の結果に基づいた、としている。

¹⁰ 8 月をシミュレーションの対象としている。暑熱に順化した作業員が、気流を感じる状況 (換気条件下) で作業を行う場合に焦点を当てている。作業強度については、重労働は WBGT 閾値を 25°C、軽労働は 30°C として、厚生労働省ガイドラインにおける 4 つのカテゴリーを 2 つのカテゴリーに再編成。その上で、閾値未満の時間を「安全な時間」としている。

より、2013年に南京市に274億9000万元(44億米ドル)の経済損失がもたらされた。この結果から、産業の相互依存性のために製造業、エネルギー供給業、サービス業にも、熱波による間接的損失が生じる可能性がある、としている。

8 | 中国での高温補助金支払いに関する調査：屋外労働生産性に大きな負の影響を与える可能性

8つ目の研究は、中国で行われている「高温補貼」(“ガオーウェンぷティエー”と発音)といわれる、猛暑環境での従業員向けの高温補助金に関するものだ。気温が屋外では35℃、屋内では33℃を超えた場合、使用者は労働者にこの高温補助金を支払う必要がある。¹¹

同研究は、屋外での作業に伴う高温補助金に焦点を当てている。まず、5つの全球気候モデルをもとに、RCP8.5、RCP4.5、RCP2.6について、気温シナリオを設定する。そして、1997~2005年を基準期間として、2030、2040、2090年における気温の状況から、高温補助金がどの程度増加するかを予測している。その結果、基準期間中の高温補助金は、平均して年間386億元(62.2億米ドル)(=GDPの0.2%相当)であったが、RCP8.5の下では今世紀末に中国のGDPの3%に達する可能性があると予測された。この結果から、気候変動による暑熱ストレスは、重労働を中心に、屋外労働生産性に大きな負の影響を与える可能性がある、としている。¹²

4—おわりに(私見)

以上、気候変動による地球温暖化が進むことにより、暑熱ストレスが労働にどのような影響を与えるか、という点について先行研究を見ていった。労働生産性をはじめ、労働災害、労働安全時間、高温補助金のコストなど、さまざまな観点から研究が行われていることがわかる。

本稿では、日本の状況に類似すると考えられる東アジアの研究(うち1件は日本)を見ていったが、通常、気候や労働環境等は国や地域によって異なる部分がある。このため、これらの研究の結果が、日本の各地域にそのまま当てはめられるとは限らない。ただし、暑熱ストレスが労働に与える影響を考えるうえで、参考情報として活用する価値は高いものと思われる。

今後も、地球温暖化が労働に与える影響の調査・研究は、世界中で進められていくだろう。引き続き、それらの研究をウォッチしていくこととしたい。

¹¹ 2012年に導入された行政措置。熱中症からの労働者保護のために労働コストに高温の影響を考慮することを明示した世界初の国家規制とされている。

¹² なお同研究は、高温補助金のコストは職場の暑熱に伴う経済的負担の一部にすぎず、熱関連の生産性損失、熱中症等の他のコストの削減を目的とするものであることを忘れてはならない、としている。

(参考資料)

1. 「令和6年度クールビズについて」(環境省, 報道発表資料, 2024年4月23日)
https://www.env.go.jp/press/press_03119.html
2. Manuela De Sario, Francesca Katherine de' Donato, Michela Bonafede, Alessandro Marinaccio, Miriam Levi, Filippo Ariani, Marco Morabito, and Paola Michelozzi, Occupational heat stress, heat-related effects and the related social and economic loss: a scoping literature review, Workclimate Collaborative Group, *Front Public Health*. 2023; 11: 1173553. Published online 2023 Aug 2. doi: 10.3389/fpubh.2023.1173553
3. Li X, Chow KH, Zhu Y, Lin Y. Evaluating the impacts of high-temperature outdoor working environments on construction labor productivity in China: A case study of rebar workers. *Build Environ*. (2016) 95:42-52. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.09.005
4. Yi W, Chan APC. Effects of heat stress on construction labor productivity in hong kong: a case study of rebar workers. *Int J Environ Res Public Health*. (2017) 14:1055. doi: 10.3390/ijerph14091055
5. Ma R, Zhong S, Morabito M, Hajat S, Xu Z, He Y, et al. Estimation of work-related injury and economic burden attributable to heat stress in Guangzhou, China. *Sci Total Environ*. (2019) 666:147-54. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.201
6. Lee S-W, Lee K, Lim B. Effects of climate change-related heat stress on labor productivity in South Korea. *Int J Biometeorol*. (2018) 62:2119-29. doi: 10.1007/s00484-018-1611-6
7. Liu X. Reductions in labor capacity from intensified heat stress in china under future climate change. *Int J Environ Res Public Health*. (2020) 17:278. doi: 10.3390/ijerph17041278
8. Suzuki-Parker A, Kusaka H. Future projections of labor hours based on WBGT for Tokyo and Osaka, Japan, using multi-period ensemble dynamical downscale simulations. *Int J Biometeorol*. (2016) 60:307-10. doi: 10.1007/s00484-015-1001-2

9. Xia Y, Li Y, Guan D, Tinoco DM, Xia J, Yan Z, et al. Assessment of the economic impacts of heat waves: a case study of Nanjing, China. *J Clean Prod.* (2018) 171:811-9. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.069
10. Zhao Y, Sultan B, Vautard R, Braconnot P, Wang HJ, Ducharne A. Potential escalation of heat-related working costs with climate and socioeconomic changes in China. *Proc Natl Acad Sci U S A.* (2016) 113:4640-5. doi: 10.1073/pnas.1521828113