

基礎研
レポート

気候変動:死亡率シナリオの試作

気候変動の経路に応じて将来の死亡率を予測してみると…

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

〈概要〉

これまでに、気象データをもとに、日本全国の気候指数を作成した。そして、回帰分析を通じて、気候指数と人の死亡率の関係を定式化した。そこで得られた関係式は、近年の死亡数の実績を概ね再現するものであった。

今回、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が第6次評価報告書で示している共通社会経済経路(SSP)をもとに、将来の気候変動を気候指数の形で定量化した。そして、これを関係式に代入することで、SSPに応じた将来の死亡率を予測する試算を行った。

試算によると、気候政策を導入しないSSP5-8.5の経路では、今世紀末までの昇温を約1.5°C以下に抑える気候政策を導入するSSP1-1.9の経路に比べて、2091-2100年の死亡数が+1.3%増加するなど、気候変動が激しくなると死亡数に一定の影響を及ぼしうる、との結果を得ることができた。

ただし今回は、1地域、1モデルにもとづく試算であり、予測の可用性を見極めることが主な目的であった。今後、得られた知見をもとに、日本全国での複数のモデルにもとづく死亡率シナリオの作成に向けて取り組んでいくこととしたい。

はじめに

近年、世界的に気候変動問題への注目度が高まっている。地球温暖化の進行により、台風、豪雨、熱波、干ばつ、大規模山林火災、海面水位上昇など、さまざまな影響が地球環境にもたらされている。

その極端さを数量的に把握する試みとして、[2023年4月6日のレポート](#)¹および[2024年4月5日のレポート](#)²では、日本全国版の気候指数を作成した。気候指数は、気候変動の物理的リスクのうち、長期間に渡って徐々に環境を破壊していく「慢性リスク」を定量的に表示するものとして、さまざまな活用法が考えられる。

その活用法の一例として、[2023年8月31日のレポート](#)³および[2024年1月18日のレポート](#)（以下、「前回のレポート」と呼称）⁴では、気候指数と死亡率の関係を、回帰分析の統計手法を用いて定量的に把握することを試みた。このようにして得られた回帰計算結果は、近年の死亡数実績を概ね再現するものであった。

今回、この回帰計算によって得られた気候指数と死亡率の関係式をもとに、将来の気候変動に応じた死亡率の推移を予測することとした。

具体的には、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が第6次評価報告書で示している共通社会経済経路(SSP)をもとに、将来の気候変動を気候指数の形で定量化した。そして、これを関係式に代入することで、SSPに応じた将来の死亡率を予測する試算を行った。

試算によると、気候変動が激しくなると死亡数に一定の影響を及ぼしうる、との結果を得ることができた。ただし今回は、1地域、1モデルにもとづく試算であり、予測の可用性を見極めることが主な目的であった。今後、得られた知見をもとに、日本全国での複数のモデルにもとづく死亡率シナリオの作成に向けて取り組んでいくこととしたい。

ここで、本稿の流れを示しておく。まず、第1章で気候指数の作成、第2章で気候指数と死亡率の関係の定式化に関する、これまでの取組みの振り返りを行う。そして、第3章以降で、本稿の核心部分に入っていく。第3章では将来の気候変動の指数化、第4章では死亡率シナリオの作成と将来の死亡数の予測について、手法の考え方や技術的な検討点などを紹介する。その上で、第5章で、試算結果を概観していく。第6章では、簡単なまとめを行う。

本稿が、気候変動問題について、読者の関心を高める一助となれば幸いである。

※ 図表6-1~6-6の観測実績とヒストリカルな気候指数の比較グラフについて数値の誤りが判明したため修正した。(2024年12月17日)

¹ 「[気候指数 \[全国版\] の作成－日本の気候の極端さは1971年以降の最高水準](#)」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2023年4月6日)

² 「[気候指数 2023年データへの更新－日本の気候の極端さは、1971年以降の最高水準を更新](#)」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2024年4月5日)

³ 「[気候変動と死亡数の増減－死亡率を気候指数で回帰分析してみると…](#)」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2023年8月31日)

⁴ 「[気候変動と死亡数の関係－2022年データで回帰式を更新し、併せて改良を図ってみると…](#)」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2024年1月18日)

[目次]

はじめに	2
1—気候指数の作成に関する振り返り	4
1 気候指数には慢性リスク要因の影響の定量化が求められる	4
2 12 の地域区分ごとに複数の観測地点を設定	4
3 気象データの観測地点は気象台等とする	5
4 観測地点は、全部で 174 地点 (気象データ 154 地点、潮位データ 57 地点)	6
5 気候指数は地域区分ごとに作成し、その平均から日本全体の指数を作る	7
6 月ごとと季節ごとの指数を作成する	7
7 指数は参照期間の平均と標準偏差をもとに乖離度の大きさとして表される	7
8 各項目について、閾値等を用いて指数を作成する	7
9 合成指数は、高温、降水、湿度、海面水位の 4 つの指数の平均とする	9
2—気候指数と死亡率の関係の定式化に関する振り返り	9
1 気候指数の活用—気候変動が人の生命や健康に与える影響を定量的に把握	9
2 7 つの気候指数すべてを回帰計算に使用	9
3 大震災やコロナ禍の年のデータは回帰計算に使用しない	10
4 直近 10 年分のデータを学習データとして、回帰式を作成	10
5 回帰式は 504 本作成	10
6 回帰式にはロジット変換や対数変換を組み入れる	10
7 ダミー変数は、地域区分と月について組み込む	11
8 高温と低温の指数については、2 乗の項も用いる	11
9 死亡率の改善トレンドを、時間項として織り込む	11
3—将来の気候変動の指数化	13
1 IPCC が設定している SSP をもとに気候シナリオが作られている	13
2 さまざまな全球気候モデル(GCM)により、SSP に応じた気候シナリオが作成されている	15
3 本稿では MIROC6 のデータをもとに、関東甲信の死亡率シナリオを試作することとした	16
4 モデルのデータの利用に関して、技術的な調整を 3 つ行う	16
4—死亡率シナリオの作成と将来の死亡数の予測	18
1 回帰式の海面水位の項は除去する	18
2 将来の人口の推移には「日本の将来人口推計」を用いる	19
3 死亡率に人口を掛け算したものを月単位の死亡数に調整する	19
4 死亡率の改善トレンドの織り込みは、予測開始から当初 10 年間とする	20
5 死亡数計算結果の人口への反映は行わない	20
5—試算結果	21
1 高温、低温、降水、湿度の指数について観測実績とヒストリカルの推移は類似している	21
2 高温指数で、SSP5-8.5 は他の経路に比べて大きく上昇	23
3 気候指数が死亡率に与える影響割合は 2% 弱	27
4 死亡率は、2060 年代以降、SSP5-8.5 の経路が SSP1-1.9 の経路を上回ることが多くなる	28
5 気候変動が激しくなると、死亡数に一定の影響を及ぼしうる	32
6—おわりに (私見)	35
【参考文献・資料】	36
(著者の過去の関連レポート)	37
(参考) 死因の分類について	39

1— 気候指数の作成に関する振り返り

将来の気候変動経路に応じた死亡率推移の予測に入る前に、本章と次章では、これまでの取組みについて簡単に見ておくこととしたい。本章では、気候指数の作成について少し振り返っておこう。⁵

1 | 気候指数には慢性リスク要因の影響の定量化が求められる

近年、世界的に、社会経済のさまざまな場面で気候変動問題に対する注目度が高まっている。台風や豪雨などの自然災害の頻発化・激甚化をはじめ、干ばつや海面水位上昇などに伴う食糧供給や生活環境の悪化が懸念されている。その対策として、カーボンリサイクル、ネットゼロ、CCUS(二酸化炭素回収・有効利用・貯留)⁶、再生可能エネルギーの導入促進といった温室効果ガス排出削減の取組みや、それをファイナンスの面から支える、グリーンボンド(環境債)・サステナビリティボンドの発行等の動きが、各国で進められている。

そこで問題となるのが、そもそも気候の極端さは、どの程度高まっているのか、という点だ。気候変動リスクには、豪雨による河川の氾濫や土砂災害のように、短時間のうちに急激に環境が損なわれる「急性リスク」だけでなく、海面水位上昇による沿岸居住地域の喪失のように、長期間に渡って徐々に環境を破壊していく「慢性リスク」もある。気候指数には、こうした慢性リスク要因の影響を定量的に示していくことが求められる。

2 | 12の地域区分ごとに複数の観測地点を設定

このような慢性リスクを定量化すべく、これまでに、気象庁の気候区分をもとに、日本全体を12の地域区分に分けて、気候指数を作成してきた。この区分は、一般的な地方区分を踏まえつつ、都道府県の行政単位ごとに設定することが、主な狙いとなっている。

図表 1. 12の地域区分



地方分類

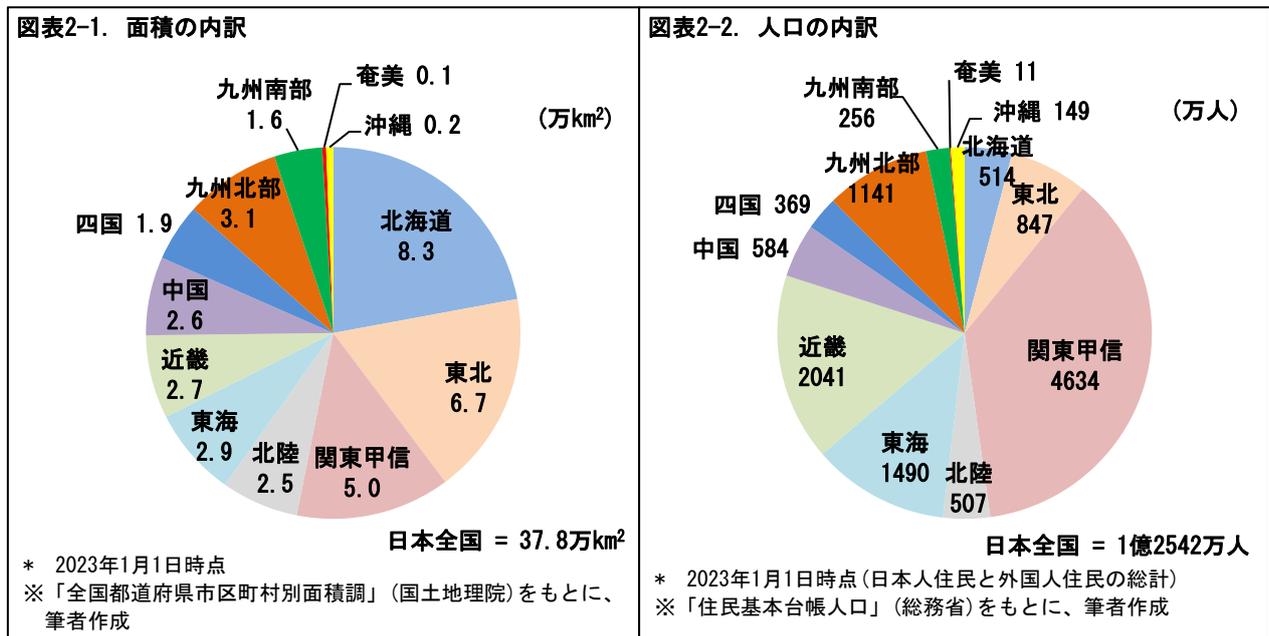
- (北日本)
 - ・北海道
 - ・東北
- (東日本)
 - ・関東甲信
 - ・北陸
 - ・東海
- (西日本)
 - ・近畿
 - ・中国
 - ・四国
 - ・九州北部
 - ・九州南部
- (沖縄・奄美)
 - ・奄美
 - ・沖縄

※ 「日本の気候」(気象庁 HP)(https://www.ima.go.jp/ima/kishou/known/kisetsu_rivou/tenkou/Average Climate Japan.html)より

⁵ 第1章の内容は、2ページの注記1、2に示したレポートの概要となっている。

⁶ CCUSは、Carbon dioxide Capture, Utilization and Storageの略。日本では、北海道の苫小牧沿岸域にて、二酸化炭素の分離・回収、圧入、貯留等に関する大規模実証試験が実施される等、早期の社会実装に向けた取組みが進められている。

なお、奄美については面積や人口が他の地域と比べて小さい。また、他の地域が都道府県単位であるのに対して、奄美は鹿児島県の一部であり市町村単位での設定となっている。そこで、気候指数の作成においては、奄美について、奄美単独の地域区分に加えて、九州南部と合わせた「九州南部・奄美」の地域区分も設定することとしている。



3 | 気象データの観測地点は気象台等とする

各地域区分に複数の観測地点を設定して、そのデータをもとに気候指数を作成する。そして、各地点の気候指数を平均化したものを、その地域区分の気候指数とする⁷。

各地域区分で設定する気象データの観測地点は、原則として気象台等⁸とする。気象台等では、過去からの日々の観測要素(気温、降水量、風、湿度、天気など)が取得できるためである⁹。無人観測施設であるアメダス¹⁰による観測地点でも、降水量、風、気温などのデータが取得できるが、湿度や一部の項目が取得できないなどの制約があることから、気候指数作成用の気象データとしては用いない。また、すでに観測を停止している地点のデータも用いないこととする。

なお、海面水位指数の作成には潮位データを用いるが、後述の通り、今回の死亡率シナリオの作成では、同指数は用いない。そこで、潮位データの観測地点の選定については注記欄に記す。¹¹

気象データは、日単位のものとし、各観測地点の「日最高気温(°C)」、「日最低気温(°C)」、「降水量の日合計(mm)」、「日平均風速(m/s)」、「日平均相対湿度(%)」のデータとする。乾燥指数のため

⁷ 各地点の気候指数は、気象や潮位のデータの参照期間(1971~2000年)平均からの乖離度(平均と標準偏差を用いて算定)として計算される。そのため、各地点の平均をとることができる。
⁸ 気象台の他に、有人の気象観測施設も含まれる。
⁹ 一部の項目のデータが取得できない気象台等もある。その場合、その観測地点のデータは気候指数作成には用いない。
¹⁰ 国内約1300か所の気象観測所で構成される気象庁の無人観測施設。アメダス(AMeDAS)は、Automated Meteorological Data Acquisition System(地域気象観測システム)の通称。
¹¹ 潮位データについては、1997年3月以前の潮位の観測値が「歴史的潮位資料」、1997年4月以降の潮位の観測値が「近年の潮位資料」として、気象庁より公表されている。ただし、歴史的潮位資料は、すべての潮汐観測地点で公表されているわけではなく、長期に渡って観測を続けている地点に限られる。一方で、過去のデータはあるものの、すでに観測を停止しているために、直近のデータがない地点も多く見られる。そこで、各地域区分で設定する潮位データの観測地点は、歴史的潮位資料と近年の潮位資料が公表されていて、かつ現在も観測継続中の地点としている。

に、降水に関しては、降水現象の有無に関する「現象なし情報」も用いる。潮位データは、月単位のものとし、各観測地点の「月平均潮位 (cm)」を用いる。

4 | 観測地点は、全部で 174 地点 (気象データ 154 地点、潮位データ 57 地点)

以上の検討の結果、観測地点は下表のとおりとなった。気象データとして 154 地点、潮位データとして 57 地点のデータを気象庁のホームページより取得し、これらをもとに気候指数を作成している。

このうち、気象データと潮位データを両方とも観測しているものが 37 地点¹²。気象データのみを観測しているものが 117 地点。潮位データのみを観測しているものが 20 地点となっている。全部で、174 の観測地点のデータをもとに、気候指数を作成している。

図表 3. 気候指数作成にデータを用いる観測地点の一覧 (174 地点)

	地域区分	気象データ (154 地点)	潮位データ (57 地点)
北日本	北海道	札幌 函館 江差 寿都 小樽 倶知安 岩見沢 旭川 羽幌 留萌 稚内 北見枝幸 雄武 紋別 網走 室蘭 苫小牧 浦河 帯広 広尾 釧路 根室	函館 小樽 稚内 網走 釧路 花咲
	東北	青森 深浦 むつ 八戸 盛岡 宮古 大船渡 仙台 石巻 秋田 酒田 新庄 山形 福島 若松 白河 小名浜	深浦、下北 宮古
東日本	関東甲信	水戸 つくば 宇都宮 日光 前橋 熊谷 秩父 千葉 銚子 勝浦 館山 東京 大島 三宅島 八丈島 父島 南鳥島 横浜 甲府 河口湖 長野 軽井沢 松本 諏訪 飯田	布良 東京 岡田 父島 南鳥島
	北陸	新潟 高田 相川 富山 伏木 金沢 輪島 福井 敦賀	佐渡 富山 能登
	東海	岐阜 高山 網代 三島 石廊崎 静岡 御前崎 浜松 名古屋 伊良湖 四日市 津 上野 尾鷲	石廊崎 御前崎 内浦 清水港 舞阪 名古屋 尾鷲 鳥羽
西日本	近畿	彦根 京都 舞鶴 大阪 神戸 豊岡 姫路 洲本 奈良 和歌山 潮岬	舞鶴 大阪 淡輪 神戸 洲本 和歌山 白浜 串本 浦神
	中国	鳥取 米子 境 松江 浜田 西郷 岡山 津山 福山 広島 呉	境 浜田 西郷 宇野
	四国	徳島 高松 多度津 松山 宇和島 室戸岬 高知 宿毛 清水	小松島 高松 松山 宇和島 室戸岬 高知 土佐清水
	九州北部	萩 山口 下関 福岡 飯塚 佐賀 雲仙岳 佐世保 平戸 長崎 福江 厳原 熊本 人吉 牛深 大分 日田	長崎 福江 大浦 口之津
	九州南部	延岡 宮崎 都城 油津 鹿児島 阿久根 枕崎 種子島 屋久島	油津 鹿児島 枕崎 種子島
沖縄・奄美	奄美	名瀬 沖永良部	奄美
	沖縄	那覇 名護 久米島 南大東島 宮古島 石垣島 西表島 与那国島	那覇 石垣 与那国

* 山に設置された測候所の地点 (例、富士山) では、一部のデータが取得できない場合がある。その場合、その地点のデータは用いない。2011 年の東日本大震災や 2000 年の三宅島噴火など、自然災害による観測中断期間がある場合は、その内容を見て採否を判断した。

※ 筆者作成

¹² 気象データの観測地点である石垣島と、潮位データの観測地点である石垣は、同一としてカウントした。与那国島と与那国も同様。

5 | 気候指数は地域区分ごとに作成し、その平均から日本全体の指数を作る

各地域区分の指数は、それぞれに含まれる観測地点の指数の単純平均とする。

そのうえで、日本全体の気候指数を、各地域区分の単純平均として作る。平均の計算にあたり、九州南部と奄美については、「九州南部・奄美」を用いている。

6 | 月ごとと季節ごとの指数を作成する

指数は、月ごとおよび四半期の季節単位(12~2月、3~5月、6~8月、9~11月)に作成する。そして、月や季節の指数と併せて、月の5年移動平均、季節の5年移動平均の指数も作成する。これは、気候変動を、短期間の変動としてではなく、より長いスパンで捉えようとする試みである。¹³

7 | 指数は参照期間の平均と標準偏差をもとに乖離度の大きさとして表される

気候指数は、7つの項目の乖離度をもとに計算する。7つの項目とは、高温、低温、降水、乾燥、風、湿度、海面水位を指す。計算にあたり、1971~2000年の30年間を、参照期間とする。そして、あらかじめ、各項目の計数値について、参照期間中の同じ月(季節)の平均と標準偏差を求めておく。(以下、本章では季節については、月にに関する文の「月」を「季節」と読み替えていただきたい。)

まず、ある1つの項目に、注目する。この項目について、ある月の乖離度を求めることにしよう。そのためには、その月の計数値から、参照期間中の平均を引き算する。その引き算の結果を、参照期間中の標準偏差で割り算する。このようにすることで、その月の計数値が、標準偏差の何倍くらい、平均から乖離しているかという、乖離度が計算できる。

$$\text{ある月の乖離度} = (\text{その月の計数値} - \text{平均}) \div \text{標準偏差}$$

乖離度が標準正規分布に従うものと想定すると、-1から1の間に入る確率は、約68.3%となる。逆に、乖離度が1を超える確率は、約15.9%となる。乖離度が2を超えるのは珍しいことで、その確率は、約2.3%。乖離度が3を超えるのは大変珍しいことで、約0.1%の確率となる。このようにして、気候に関する極端さの度合いを定量化していく。この乖離度を、7つの項目それぞれで計算する。

8 | 各項目について、閾値等を用いて指数を作成する

以下の(1)~(7)では、項目別に作成方法を概観していく。いずれも、参照期間を基準として、それと比較した“極端さ”の度合いを示すものとして乖離度を用いる、という方針が貫かれている。

(1) 高温：上側10%に入る日の割合から算出

高温は、参照期間中の気温分布に照らした場合に、上側10%の中に入る日が、月の日数のうち何日を占めるかという割合をとる。例えば、ある年の8月15日については、1971年から2000年までの8月15日とその前後5日間(8月10~14日および16~20日)の、合計330日分のデータのうち、33番目

¹³ なお、やや細かい点ではあるが、参照期間の当初5年間(1971~1975年)については、実績が5年分に満たないため、移動平均をとっても変動が大きくなる。そこで、この期間は、5年移動平均の不足分を1971~1975年の平均で補うこととしている。

に高いデータを閾値(しきいち)とする。そして、閾値以上の日が、月の日数(8月の場合は31日)のうち何日あったかという割合をとる。

気温は、1日のうちにも変動するため、日最高気温と日最低気温のそれぞれについて、その割合をとる。この割合から、参照期間の平均を差し引き、その結果を参照期間の標準偏差で割り算して、それぞれの乖離度が計算される。そして、その和半をとって、高温の指数とする。¹⁴

(2) 低温：下側10%に入る日の割合から算出

低温は、高温と同様に、参照期間中の気温分布に照らした場合に、月のうち、下側10%の中に入る日が、何日を占めるかという割合をみる。日最高気温と日最低気温のそれぞれについて、その割合をとる。この割合から、参照期間の平均を差し引き、その結果を参照期間の標準偏差で割り算して、それぞれの乖離度が計算される。そして、その和半をとって、低温の指数とする。

(3) 降水：5日間の降水量の最大値から算出

降水は、月のうち、連続する5日間の降水量をみる。高温と同様に、参照期間中の降水量の上側10%の中に入る日が、その月にどれだけあるかという割合でみていく。この割合から、参照期間の平均を差し引き、その結果を参照期間の標準偏差で割り算して、降水の指数とする。

(4) 乾燥：乾燥日が連続する日数から算出

乾燥の指数は、連続乾燥日から算出する。すなわち、乾燥日は何日続くかという、最大連続日数についてデータをとる。その際、乾燥日をどのように判定するかが検討ポイントとなる。降水量が0ミリメートルでも、わずかながら降水が見られる場合と、まったく降水が見られない場合があるためだ。

これについては、気象データにおいて観測単位(降水量0.5ミリメートル)未満で、降水の現象の有無の観測をした結果として表示されている「現象なし情報」を用いて判定する¹⁵。

参照期間中の同月の乾燥日の最大連続日数をもとに、その月の参照期間からの乖離度が計算される。これを、乾燥の指数とする。

(5) 風：上側10%に入る日の割合から算出

風は、参照期間中の日平均風速の分布に照らした場合に、月のうち、上側10%の中に入る日が、何日を占めるかという割合をとる。この割合から、参照期間の平均を差し引き、その結果を参照期間の標準偏差で割り算して、それぞれの乖離度が計算される。これを、風の指数とする。

(6) 湿度：上側10%に入る日の割合から算出

湿度は、参照期間中の日平均相対湿度の分布に照らした場合に、月のうち、上側10%の中に入る日が、何日を占めるかという割合をとる。この割合から、参照期間の平均を差し引き、その結果を参照期間の標準偏差で割り算して、それぞれの乖離度が計算される。これを、湿度の指数とする。

(7) 海面水位：参照期間中の同じ月のデータと比較して算出

¹⁴ 合計330日分のデータのうち33番目に高いデータを閾値として、閾値以上の日数の割合をとる方法は、低温、降水、風、湿度の指数の算出においても同様に行っている。

¹⁵ 現象なし情報は、降水の現象があった日は0、なかった日は1の値で表示されている。

海面水位は、月平均潮位から算出する。ただし、季節によって海面水位の高さは変わる。そこで、参照期間中の同月の 30 個のデータをもとに、参照期間の平均と標準偏差を計算する。それらをもとに、その月の平均潮位の参照期間からの乖離度が計算される。これを、海面水位の指数とする。

9 | 合成指数は、高温、降水、湿度、海面水位の 4 つの指数の平均とする

最後に、以上の 7 項目の指数をもとに、気候変動の状況を端的に表すために、合成指数を算出する。

7 項目の指数のうち、高温と低温はともに気温についての項目であり、相互に関連があるものと考えられる。また、降水と乾燥は、反対の事象を表す項目と言えるため、負の相関があるものとみられる。さらに、風については、観測方法がよく変更されており、データが空欄となっていた日数も多いなど、データの一貫性に難があるという課題が残っている。¹⁶

このため、合成指数は、高温、降水、湿度、海面水位の 4 項目の平均として算出している。¹⁷

2——気候指数と死亡率の関係の定式化に関する振り返り

本章では、気候指数と死亡率の関係の定式化について少し振り返っておく。¹⁸

1 | 気候指数の活用—気候変動が人の生命や健康に与える影響を定量的に把握

気候指数の用途として、さまざまなものが考えられる。例えば、中長期的な地球温暖化の進展や、気候変動に伴う生物多様性への影響を見極める際に、気候指数を活用することが考えられる。

気候指数を通じて、気候変動が人の生命や健康に与える影響を定量的に予測することも考えられる。気温上昇により、高温指数が上昇した時に、死亡率がどれだけ高くなるのか、健康はどれだけ損なわれるのかといった点の解明である。

そこで、これまでに気候変動と死亡率の関係を回帰分析の統計手法を用いて把握することを試みた。

関係式は、まず死亡数と人口のデータをもとに死亡率(目的変数)を求め、気候指数(説明変数)を用いて、それを回帰計算する手法で導出した。具体的には、性別、年齢群団、死因別に回帰式を立式して、各説明変数の係数を算出した。その際、ロジットを用いた分析、気温関連の気候指数(高温、低温)の 2 乗項の設定、時間項の導入、ダミー変数を通じた月や地域区分ごとの差の反映など、いくつかの技術的な工夫を行った。

2 | 7 つの気候指数すべてを回帰計算に使用

回帰式の設定において、どの気候指数を説明変数に用いるかという点について、検討を行った。回帰式に採用する気候指数を限定することも検討したが、その場合、いくつかの影響がこぼれ落ちてしまうことが懸念された。例えば、低温指数を排除すると、低温が循環器系疾患による死亡に与える影響は表現できなくなる。また、降水指数を不採用とすると、降水が自殺を含めた精神疾患に及ぼす影響も加味されなくなる、等である¹⁹。そこで、関係の解明の有無によらず、7 つの気候指数すべてを

¹⁶ 気象データのうち日平均風速については、1971~2022 年の間に、すべての観測地点で少なくとも 1 回、多い地点では 4 回、観測方法が変更されている。また、空欄となっている日数は、他の気象データに比べて多い。

¹⁷ なお、観測地点ごとに合成指数を算出する場合には、海に面していない観測地点(気象データのみを観測している地点)では、高温、降水、湿度の 3 項目の平均として、合成指数を計算する。

¹⁸ 第 2 章の内容は、2 ページの注記 3、4 に示したレポートの概要となっている。

¹⁹ さらに、死亡率との関係が十分に解明されていない気候指数について不採用となる可能性もある。現在、疫学や生気象学の諸研究において、そうした関係の解明に向けた努力が進められているなかであって、既に解明された関係だけに着目し

回帰計算に使用することとした。

気候指数は、グラフでの表示に用いる 5 年移動平均のものではなく、月ごとの指数をそのまま用いている。なお、極端な気象現象が死亡率に影響を及ぼすまでのタイムラグは生じないものと想定する。

3 | 大震災やコロナ禍の年のデータは回帰計算に使用しない

死亡数のデータは「人口動態統計」（厚生労働省）、人口のデータは「国勢調査」と「人口推計」（いずれも総務省）を用いている。死亡数と人口は、毎年、データが公表されている。直近では、2022 年の死亡数（確定値）の実績が公表されている。ただし、2022 年の死亡数は約 156.9 万人で、コロナ禍の影響により対前年+12.9 万人の大幅増加となっている。このようにコロナ禍や大震災等の気候変動以外の影響が明らかな 1995、2011、2020-22 年のデータは、回帰計算には使用しないこととした。

4 | 直近 10 年分のデータを学習データとして、回帰式を作成

学習データとして何年分のデータを用いるべきか、試算を通じて検討を行った。その結果、学習データを 10 年分とするケースの説明力が高いことが判明した。

この結果から、直近 10 年分の有効なデータ（大震災やコロナ禍の影響を含まないデータ）を用いることとした。具体的には、2009-10、12-19 年の 10 年分のデータをもとに回帰計算を行うこととした。

5 | 回帰式は 504 本作成

死亡率の分子の死亡数のデータは、性別、年齢群団、死因、地域区分、月別のデータとなるよう、適宜、按分処理等のデータ補整を行う。なお、傷病ごとの死因分類の詳細については、稿末の（参考）「死因の分類について」をご参照いただきたい。

死亡率と高温指数の関係を考えた場合、夏季と冬季とでは、同じ指数 1 の変化でも死亡率に与える影響は異なることが考えられる。そこで、この違いを考慮して、暑熱期（5-9 月）と、それ以外の時期（10-4 月）とで、回帰式を分けることとした。

この結果、回帰式は、性別（2 つ）、年齢群団（21 個）、死因（6 つ）、暑熱期とそれ以外の時期（2 つ）ごとに設定し、全部で 504 本作成する形となった。

6 | 回帰式にはロジット変換や対数変換を組み入れる

死亡率はロジット変換、気候指数は対数変換を施したうえで、回帰計算を行う。

ロジット変換は、0~1 の範囲で値をとる確率を、実数全体に引き延ばす。一方、逆変換は、実数全体を値域として得られた回帰計算の結果を、0~1 の範囲で値をとる確率に変換する。一般に、ロジット変換では、確率が 0.5 近辺の場合、精度が下がるとされる。今回は、死亡率を回帰するもので、その値は、通常、0.5 よりもはるかに小さいことから、変換による精度の低下は限定的と考えられる。

気候指数は負値の場合もありうる。その場合は、そのまま自然対数をとることはできない。そこで、ある定数 C をすべての気候指数に足し算して負値を解消したうえで、自然対数をとることとする。²⁰ 具体的には、過去の気候指数の推移を踏まえて、安全な水準として、 $C=10$ と置くこととした。

て気候指数の採否を決定することは、主観的で妥当性を欠く取扱いとなる恐れがある。

²⁰ 1971 年 1 月~2022 年 12 月の月ごとの気候指数を見ていったところ、最小値は、1977 年 5 月に北陸で記録された海面水位指数 -3.142。最大値は、2012 年 9 月に北海道で記録された高温指数 5.709 であった。負値の解消ということであれば、 C を 3.142 を上回る定数として設定すればよいこととなる。ただし、今後の変動が過去の変動範囲におさまる保証はない。

7 | ダミー変数は、地域区分と月について組み込む

ダミー変数については、地域区分と月の2種類のものを用いることとする。

地域区分については、11の区分であるため、10個のダミー変数を用いることとなる。一方、月については、暑熱期は4個。それ以外の時期は6個のダミー変数を用いる形となる。

8 | 高温と低温の指数については、2乗の項も用いる

高温と低温の指数については、線形回帰²¹をやめて、2乗の項も導入する。この取り扱いは、温暖化の健康影響に関する先行研究を踏まえたものである。2014年に公表された環境省の研究費用を用いた研究の報告書²²に掲載されている「温暖化の健康影響－評価法の精緻化と対応策の構築－」という報告では、「至適気温」と、それを踏まえた回帰式の立式について、次の説明がなされている。

「厚労省から死亡小票データ、気象庁から気象データを入手して、日別の最高気温と死亡数の関連を観察すると(中略)V字型になる。暑くても寒くても死亡数は増加するので、中間付近に死亡数が最も少ない気温(=至適気温)があり、この気温を超えた、ある気温での死亡数から至適気温での死亡数を引いた部分を超過死亡と定義した。(以下略)」

9 | 死亡率の改善トレンドを、時間項として織り込む

回帰式には、時間項を設定する。一般に、死亡率は時間に応じた改善トレンドを有している。これには、死亡率に影響を与える医療技術や医薬品・医療機器等の進歩をはじめ、社会全体の健康増進意識の高まりや、健康診断等の予防医療の普及。住居や職場等の衛生環境の改善。禁煙・節酒を含む、食生活バランスの見直し。適度な運動等により体を動かすことや、適切な休息・睡眠をとることが重要性であることの認識の浸透など、さまざまな時間的要因が寄与しているものと考えられる。

回帰式に時間項を設定することで、気候変動の要因とは別に、死亡率に改善のトレンドを与える要素を反映して、説明力を高めることが可能となる。

以上の検討の結果、回帰式は、次の通りとなった。

(回帰式)

【暑熱期 (5月～9月)】

$$\begin{aligned} \text{LOGIT} = & h2 \times \{\ln(\text{HT}+C)\}^2 + h1 \times \ln(\text{HT}+C) + l2 \times \{\ln(\text{LT}+C)\}^2 + l1 \times \ln(\text{LT}+C) \\ & + r \times \ln(\text{RF}+C) + d \times \ln(\text{DD}+C) + w \times \ln(\text{WP}+C) + m \times \ln(\text{HM}+C) + s \times \ln(\text{SL}+C) \\ & + t \times \text{TIME} \\ & + I + da1 \times Da1 + \dots + da10 \times Da10 + dm5 \times Dm5 + \dots + dm8 \times Dm8 \end{aligned}$$

【それ以外の時期 (10月～4月)】

$$\begin{aligned} \text{LOGIT} = & h2 \times \{\ln(\text{HT}+C)\}^2 + h1 \times \ln(\text{HT}+C) + l2 \times \{\ln(\text{LT}+C)\}^2 + l1 \times \ln(\text{LT}+C) \\ & + r \times \ln(\text{RF}+C) + d \times \ln(\text{DD}+C) + w \times \ln(\text{WP}+C) + m \times \ln(\text{HM}+C) + s \times \ln(\text{SL}+C) \\ & + t \times \text{TIME} \\ & + I + da1 \times Da1 + \dots + da10 \times Da10 + dm1 \times Dm1 + \dots + dm11 \times Dm11 \end{aligned}$$

(dm* × Dm* の項は、*=5～9は無し)

* ln(○)は自然対数 Cは負値の気候指数の対数エラーを避けるための定数(固定値=10)を表す。

²¹ 説明変数と被説明変数の関係を1次関数で当てはめること。

²² 「地球温暖化『日本への影響』－新たなシナリオに基づく総合的影響予測と対応策－」(環境省環境研究総合推進費 戦略研究開発領域 S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書, S-8 温暖化影響・適応研究プロジェクトチーム)

(ロジット変換・逆変換)

ロジット変換 $LOGIT = \ln(\text{死亡率} / (1 - \text{死亡率}))$

逆変換 $\text{死亡率} = \exp(LOGIT) / \{ 1 + \exp(LOGIT) \}$

* $\ln(\circ)$ は自然対数、 $\exp(\circ)$ は指数関数を表す。

ここで、回帰式中の各記号について、まとめておく。²³

回帰式の記号のまとめ

変数	係数	内容
HT の 2 乗項	h2	高温指数 (High Temperature) の 2 乗項
HT	h1	高温指数
LT の 2 乗項	l2	低温指数 (Low Temperature) の 2 乗項
LT	l1	低温指数
RF	r	降水指数 (Rain Fall)
DD	d	乾燥指数 (Dry Days)
WP	w	風指数 (Wind Power)
HM	m	湿度指数 (Humidity)
SL	s	海面水位指数 (Sea Level)
TIME	t	時間項
—	l	定数 (Invariable)
Da1~Da10	da1~da10	地域区分ダミー (Dummy Area)
Dm1~Dm11	dm1~dm11	月ダミー (Dummy Month)

※ ただし、Dm*と dm*は、*=1~8、10~11 の 10 個で、*=9 のものは無し

左辺の「死亡率」と、右辺の「変数」には、2009-10、12-19 年(10 年分)の 1 月~12 月の実績データをを入力する。そして、重回帰分析を通じて、「係数」の値を求めていく。

ダミー変数については、地域区分(Da1~Da10)と月(Dm1~Dm11)の 2 種類のものを用いる。

このうち、Da1~Da10 については、北海道は Da1 のみ 1。東北は Da2 のみ 1。関東甲信は Da3 のみ 1。北陸は Da4 のみ 1。東海は Da5 のみ 1。近畿は Da6 のみ 1。中国は Da7 のみ 1。四国は Da8 のみ 1。九州北部は Da9 のみ 1。九州南部・奄美は Da10 のみ 1。それ以外はすべて 0 とする。

また、Dm1~Dm11 については、1 月は Dm1 のみ 1。2 月は Dm2 のみ 1。3 月は Dm3 のみ 1。4 月は Dm4 のみ 1。5 月は Dm5 のみ 1。6 月は Dm6 のみ 1。7 月は Dm7 のみ 1。8 月は Dm8 のみ 1。10 月は Dm10 のみ 1。11 月は Dm11 のみ 1。それ以外はすべて 0 とする。(Dm9 および dm9 は無し。)

2 つの回帰式において、定数と、地域区分ダミー、月ダミーにより、気候指数以外の、地域区分や月の違いにともなう死亡率の違いを表すこととなる。

回帰式には、地域区分として 11 の区分がある。このため、暑熱期の回帰式には $10 \times 11 \times 5$ の 550 個の実績データ、それ以外の時期の回帰式には $10 \times 11 \times 7$ の 770 個の実績データがあることとなる。²⁴

²³ 回帰計算にあたり、統計ソフトとして、IBM SPSS Statistics バージョン 29.0.1.0 を使用した。

²⁴ ただし、一部の月では、実績データが欠落している場合がありうる。さらに、若齢では、異常無(老衰等)の死因で、死亡率がゼロとなり、ロジット変換できない場合もありうる。こうしたデータがないものや、ロジット変換できないものが出現した場合は、それを除外して回帰分析の作業を進めた。

3—将来の気候変動の指数化

本章から、本稿の核心部分に入っていく。本章では、前章までに得た気候指数と死亡率の関係式(回帰式)に、代入するための将来の気候変動の指数化についてみていく。

1 | IPCC が設定している SSP をもとに気候シナリオが作られている

(1) IPCC (気候変動に関する政府間パネル)

世界中で、気候変動問題に対する注目が高まる中、さまざまな研究機関や学術機関が気候シナリオを作成している。その中核的なものは、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) が第6次評価報告書において設定している共通社会経済経路(SSP)だと言える。

IPCC は、世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)によって 1988 年に設立された政府間組織だ。2024年7月現在、195の国と地域が参加している。IPCCの目的は、各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基礎を与えることとされている。世界中の科学者の協力を得て、出版された文献や科学誌に掲載された論文等に基づいて定期的に報告書を作成し、気候変動に関する最新の科学的知見の評価を提供している。2007年には、気候変動問題に関する活動を受賞理由として、ノーベル平和賞を受賞している²⁵。

IPCCには、3つの作業部会と1つのインベントリータスクフォースが置かれている。第1作業部会(WG1)は、気候システムと気候変動の自然科学的根拠についての評価。第2作業部会(WG2)は、気候変動に対する社会経済と自然システムの脆弱性、気候変動がもたらす好影響・悪影響、気候変動への適応のオプションについての評価。第3作業部会(WG3)は、温室効果ガスの排出削減など気候変動の緩和のオプションについての評価を、それぞれ行う。また、インベントリータスクフォース(TFI)は、温室効果ガスの国別排出目録(インベントリー)作成手法の策定や普及などの役割を担っている。

(2) 評価報告書、統合報告書

IPCCは、これまで5~7年ごとに評価報告書、統合報告書を公表してきた。第1次評価報告書は1990年に公表されたが、1992年に内容の増補が行われている。第2次評価報告書では、1997年の京都議定書採択に先駆けて、その裏付けとなる資料を提供した。第5次評価報告書では、パリ協定採択に向けて科学的情報を提供した。そして、第6次評価報告書では、産業革命前に比べて世界平均気温の上昇を1.5°Cに抑えるために必要となる温室効果ガスの排出量削減を明示した。

また、これらとは別に、タイムリーに特別報告書の公表も行ってきた。第6次評価サイクルでは、2018年に「1.5°C特別報告書」、2019年に「土地関係特別報告書」、「海洋・雪氷圏特別報告書」、「温室効果ガスインベントリーに関する『2019年方法論報告書』」が公表されている。

現在は第7次評価サイクルに入っている。

²⁵ 地球温暖化への警鐘を鳴らしたことなどの功績により、元アメリカ副大統領のアル・ゴア氏とともに受賞。

図表 4. IPCC の評価報告書、統合報告書

報告書	公表時期	概要
第 1 次評価 (FAR)	1990 年	気候変動が地球規模の影響をもたらし、国際協力を必要とする課題として重要であることを強調。地球温暖化を減らし、気候変動の結果に対処するための主要な国際条約である「国連気候変動枠組条約 (UNFCCC)」の創設において決定的な役割を果たした。
	(増補) 1992 年	FAR のシナリオ等を増補した。
第 2 次評価 (SAR)	1995 年	1997 年の京都議定書の採択に向けて政府の決定を引き出す重要な資料を提供した。
第 3 次評価 (TAR)	2001 年	気候変動の影響と適応の必要性に焦点を当てた。
第 4 次評価 (AR4)	2007 年	温暖化を 2°C に制限することに焦点を当てるポスト京都議定書の基礎を築いた。
第 5 次評価 (AR5)	2013-14 年	パリ協定への科学的インプットを提供した。
第 6 次評価 (AR6)	2021-23 年	パリ協定の下で要請された「1.5°C 特別報告書」、「土地関係特別報告書」、「海洋・雪氷圏特別報告書」の公表を経て、1.5 度を達成するために必要な温室効果ガスの排出量削減を明示した。(温室効果ガス排出量を 2035 年までに 60%削減 (2019 年比))

※ “About History of the IPCC” (IPCC HP, <https://www.ipcc.ch/about/history/>) 等をもとに、筆者作成

(3) 共通社会経済経路 (SSP)

第 6 次評価 (AR6) では、将来の社会・経済の発展について仮定した共通社会経済経路 (Shared Social-economic Pathways, SSP) (以下、単に「経路」と呼称することがある) が、放射強制力と組み合わせ、5 つ設定されている。第 5 次評価 (AR5) と同様に、対応や比較を行うための具体的な社会・経済シナリオは別途用意することとし、行き先の姿を示す目的主導型の経路設定とすることができる。SSP1-1.9 は、産業革命前に対する世界平均の気温上昇を 1.5°C 未満に抑える政策を導入して、21 世紀半ばに二酸化炭素の排出を正味ゼロとする見込みとされている。²⁶

図表 5. AR6 の共通社会経済経路 (主な項目)

共通社会 経済経路	概要	産業革命前からの気温上昇 (20 年平均) (°C)		
		2021-2040 年	2041-2060 年	2081-2100 年
SSP1-1.9	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする 21 世紀末までの昇温 (中央値) を概ね (わずかに超えることはあるものの) 約 1.5°C 以下に抑える気候政策を導入。21 世紀半ばに CO ₂ 排出正味ゼロの見込み。	1.5	1.6	1.4
SSP1-2.6	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする昇温 (中央値) を 2°C 未満に抑える気候政策を導入。21 世紀後半に CO ₂ 排出正味ゼロの見込み。	1.5	1.7	1.8
SSP2-4.5	中道的な発展の下で気候政策を導入。2030 年までの各国の「自国決定貢献 (NDC) ²⁷ 」を集計した排出量の上限にほぼ位置する。工業化前を基準とする 21 世紀末までの昇温は約 2.7°C (最良推定値)。	1.5	2.0	2.7
SSP3-7.0	地域対立的な発展の下で気候政策を導入しない中～高位参照シナリオ。エーロゾルなど CO ₂ 以外の排出が多い。	1.5	2.1	3.6
SSP5-8.5	化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない高位参照シナリオ。	1.6	2.4	4.4

* 「概要」は、「IPCC の概要や報告書で使用される表現等について」(気象庁、令和 3 年 8 月 9 日付報道発表資料別添 3) の【AR6 で使用されている主なシナリオ】からの引用。「産業革命前からの気温上昇 (20 年平均)」は、1850-1900 年 (参照期間) に対する気温上昇。

※ “Technical Summary” (IPCC WG1)、「IPCC の概要や報告書で使用される表現等について」(気象庁、令和 3 年 8 月 9 日付報道発表資料別添 3) などをもとに、筆者作成

²⁶ 経路に沿って、大学や研究機関等で 3131 個のシナリオが研究された。当初の選別と品質管理で 2266 個に絞られ、実績の反映可否で 1686 個に絞られた。さらに、2100 年までの予測可能性などを踏まえて、1202 個が審査に合格している。これらは、気候エミュレータ (FAIR、CICERO-SCM、MAGICC) を用いて C1~C8 に分類されている。

²⁷ パリ協定 (2015 年 12 月採択、2016 年 11 月発効) では、温室効果ガスの排出削減目標を「自国決定貢献 (Nationally Determined Contribution, NDC)」として 5 年ごとに提出・更新する義務が、すべての国にある。

2 | さまざまな全球気候モデル(GCM)により、SSP に応じた気候シナリオが作成されている

(1) 全球気候モデル(GCM)

現在、世界中の大学や研究機関が気候シナリオの作成を進めている。その際、全球気候モデル(Global Climate Model, GCM)と呼ばれる数理モデルを用いた予測が行われることがある。

そもそも世界初の気候モデルは、1960年代に真鍋淑郎氏とカーク・ブライアン氏が米国海洋大気庁・地球流体力学研究所で開発したモデルと言われる²⁸。それ以後、数理モデルで気候を再現する手法の研究が進んだ。コンピュータの計算性能の進歩や、気象学の研究の進展もあって、GCMのモデル予測性能が向上していったとされる。

GCMは、地球全体に対する数値モデルである。緯度、経度、高度、時間の項目で格子に区切る。そして、各格子点について、静力学平衡方程式、運動方程式、熱力学方程式等を用いて、気温、気圧、比湿(湿潤空気中に含まれる水蒸気の質量と湿潤空気全体の質量の比)などの予測数値を算出していく。

(2) 第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)

世界中の大学や研究機関が気候モデルを作成して気候予測を行っている。そのモデルの比較を行うプロジェクトとして、「第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)」と呼ばれるモデル群がある。CMIP6は、IPCCのAR6に対応した50以上のモデルからなる。

(3) 日本域CMIP6データ(NIES2020)

文部科学省と気象庁は、「気候予測データセット2020」を公表している。その中で、国立環境研究所は「日本域CMIP6データ(NIES2020)」としてCMIP6の5つのGCMを選択し、これを日本域(東経122-146度、北緯24-46度の陸上)の細かい格子で設定し、さらに実績との乖離を補正したデータを公表している²⁹。その内容は、日本域の地上1km格子点での「日最高気温(℃)」、「日最低気温(℃)」、「降水量(mm/day)」、「風速(m/s)」、「相対湿度(%)」のデータを含んでいる。各データは、SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP5-8.5の4つの経路に対して21世紀中の数値(2100年12月31日までの毎日の値)として示されている。これらのデータに必要な調整を行ったうえで、回帰式に代入する将来の気候指数の作成データとして活用することとした。なお、これらのデータには海面水位の数値はない。

日本域CMIP6データ(NIES2020)のGCMは、次の5つ。このうち、MIROC6とMRI-ESM2-0は、日本の研究機関が作成したモデルである。

- ・MIROC6(東京大学, 海洋研究開発機構(JAMSTEC), 国立環境研究所(NIES))
- ・MRI-ESM2-0(気象庁気象研究所(MRI))
- ・ACCESS-CM2(オーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO))
- ・IPSL-CM6A-LR(ピエール・シモン・ラプラス研究所(フランス))
- ・MPI-ESM1-2-HR(マックス・プランク研究所(ドイツ))

²⁸ プリンストン大学の真鍋淑郎氏は、マックス・プランク研究所のクラウス・ハッセルマン氏、ローマ・ラ・サピエンツァ大学のジョルジオ・パリージ氏とともに、2021年にノーベル物理学賞を受賞した。受賞理由は「地球温暖化の予測のための気候変動モデルの開発」。

²⁹ 細かい格子での設定は、統計的ダウンスケーリングの手法で行われている。また、実績との乖離の補正はバイアス補正として行われている。

3 | 本稿では MIROC6 のデータをもとに、関東甲信の死亡率シナリオを試作することとした

5 つのモデルからのデータをもとに、150 あまりの観測地点それぞれについて気候指数を計算し、それを回帰式に入力することで、将来の死亡率シナリオを作成する — これが、最終的な作業の目標となる。

ただし、取り扱うデータの量は膨大であり、いきなり、5 つのモデルと観測地点すべてについて、作業を進めることは適当ではない。まずは、一部のモデル、一部の地点に限定して、パイロット運用を行い、作業上の課題を洗い出したり、結果の見方を整理したりすることが現実的な進め方と考えられる。

そこで、本稿では MIROC6 のデータをもとに、関東甲信の死亡率シナリオを試作することとした。MIROC6 は、日本の研究機関が作成したモデルのうちの1つであること。また、関東甲信は、気候指数作成上の観測地点が 25 と最も多いうえに、首都圏を内包し本州の中域を占めるなど、一定の代表性を有すると見られること、がその理由である。

なお、関東甲信は、25 の観測地点の気象データをもとに気候指数を算定しているが、このうち、父島と南鳥島については、NIES2020 にはデータがない。そこで、この 2 地点を除いた 23 地点を対象に気候指数を計算し直した。

また、先述の通り、NIES2020 には海面水位の数値はないため、回帰式の再計算にあたり、右辺の気候指数は、海面水位を除く、高温、低温、降水、乾燥、風、湿度の 6 つの指数とした。

4 | モデルのデータの利用に関して、技術的な調整を 3 つ行う

モデルのデータからは、地上 1km 格子点における「日最高気温(°C)」、「日最低気温(°C)」、「降水量(mm/day)」、「風速(m/s)」、「相対湿度(%)」のヒストリカルデータと将来予測データを取得することができる。ヒストリカルデータは 1900 年 1 月 1 日～2014 年 12 月 31 日、将来予測データは 2015 年 1 月 1 日～2100 年 12 月 31 日の日ごとのデータとなっている。

ここで、ヒストリカルデータは、気象の実績データではなく、モデルから算出された過去の時点での気象データである、という点に注意が必要だ。ヒストリカルデータと気象の実績データをもとに、それぞれ気候指数を作成して、その類似性を比較することにより、モデルが過去実績をどの程度再現しているかを確認することができる。(第 5 章の試算結果において、実際に確認していく。)

MIROC6 の将来予測データは、SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP5-8.5 の 4 種類の経路のものが取得可能となっている³⁰。モデルのデータの利用に関して、技術的な調整を 3 つ行うこととした。

(1) 観測地点数値の按分処理による算出

モデルからは、地上の 1km 格子点での値が取得できる。ただし、一般に、観測地点と格子点が完全に一致しているわけではない。そこで、観測地点を取り囲む 4 つの 1km 格子点の値を取得し、それらを緯度と経度で按分処理することにより観測地点の値を求めて、それをもとに気候指数を算出することとした。

³⁰ 他にも MRI-ESM2-0 と IPSL-CM6A-LR については、SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP5-8.5 の 4 種類の経路のものが取得可能。ACCESS-CM2 と MPI-ESM1-2-HR については、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP5-8.5 の 3 種類の経路のものが取得可能。

(2) 降水現象の有無に関する「現象なし情報」についてのみなし

乾燥指数のために、降水に関しては、降水現象の有無に関する「現象なし情報」を用いている。これは、気象台などで降水量に加えて、「雨や雪などの降水現象があったかどうか」という、現象の有無の観測を行うものである。降水量の観測単位は 0.5mm のため、これに達しないわずかな降水は降水量の観測値として残らない。だが、「現象なし情報」を使えば、わずかでも降水が見られた場合と、全く降水が見られなかった場合とを区別することができる。この情報は気象台などにおける降水量や積雪など、現象の有無を観測している項目だけに付加されている。

モデルからは、この現象なし情報はデータとして取得できない。そこで、観測地点を取り囲む 4 つの 1km 格子点の降水量がすべてゼロであった場合に、降水の「現象なし」とみなすこととした。

(3) 過去分と将来分の年数の設定

モデルからは、ヒストリカルデータとして 2014 年までを過去分、将来予測データとして 2015 年以降を将来分として、データの取得が可能である。ただし、先述の通り、2014 年までの過去分は、過去の観測値ではなく、モデルから算出された過去の時点でのデータとなっている。

モデルから得られるデータと、これまでに作成した気候指数の作成との間で、年数の考え方を整理しておくことが必要となる。

これまでに、気候指数として 1971~2023 年の指数を作成してきた。また、気候指数と死亡率の回帰式は、死亡率データの取得可能な時期が 2022 年までであることに合わせて、1971~2022 年の期間に対して設定してきた。

これらを踏まえたうえで、今回、モデルからのデータの取得に応じて、次のように年数の設定を行うこととした。

まず、気候指数については、過去分として 1971~2014 年の実績データとモデル(ヒストリカルデータ)の比較を行う。2015~2023 年については実績値を利用する。そして、2024~2100 年についてはモデルの 4 つの経路の値(将来予測データ)を利用する。

これに併せて、2023 年までの気象実績に基づく気候指数と、2022 年までの死亡率と気候指数の回帰式について、関東甲信は父島と南鳥島を除いた 23 地点ベースとして再計算した。

2009-10, 12-19 年の 10 年分の実績値を学習データと用いて算定した回帰式に、説明変数として上記の気候指数を入力することで、2023~2100 年の死亡率を計算して、その予測を行うこととなる。

4—死亡率シナリオの作成と将来の死亡数の予測

前章で設定した将来の気候指数をもとに、死亡率シナリオを作成する。

1 | 回帰式の海面水位の項は除去する

本稿では、MIR0C6 のデータをもとに、関東甲信の死亡率シナリオを試作する。予測に用いる回帰式は次の通りとなる。先述の回帰式右辺の2行目の最後にあった海面水位の項は除去することとなる。

(回帰式)

【暑熱期 (5月～9月)】

$$\begin{aligned} \text{LOGIT} = & h2 \times \{\ln(\text{HT}+C)\}^2 + h1 \times \ln(\text{HT}+C) + l2 \times \{\ln(\text{LT}+C)\}^2 + l1 \times \ln(\text{LT}+C) \\ & + r \times \ln(\text{RF}+C) + d \times \ln(\text{DD}+C) + w \times \ln(\text{WP}+C) + m \times \ln(\text{HM}+C) \\ & + t \times \text{TIME} \\ & + I + da1 \times Da1 + \dots + da10 \times Da10 + dm5 \times Dm5 + \dots + dm8 \times Dm8 \end{aligned}$$

【それ以外の時期 (10月～4月)】

$$\begin{aligned} \text{LOGIT} = & h2 \times \{\ln(\text{HT}+C)\}^2 + h1 \times \ln(\text{HT}+C) + l2 \times \{\ln(\text{LT}+C)\}^2 + l1 \times \ln(\text{LT}+C) \\ & + r \times \ln(\text{RF}+C) + d \times \ln(\text{DD}+C) + w \times \ln(\text{WP}+C) + m \times \ln(\text{HM}+C) \\ & + t \times \text{TIME} \\ & + I + da1 \times Da1 + \dots + da10 \times Da10 + dm1 \times Dm1 + \dots + dm11 \times Dm11 \\ & \quad \quad \quad (dm* \times Dm* \text{の項は、}* = 5 \sim 9 \text{は無し}) \end{aligned}$$

* $\ln(\circ)$ は自然対数 C は負値の気候指数の対数エラーを避けるための定数 (固定値 = 10) を表す。

(ロジット変換・逆変換)

ロジット変換 $\text{LOGIT} = \ln(\text{死亡率} / (1 - \text{死亡率}))$

逆変換 $\text{死亡率} = \exp(\text{LOGIT}) / \{1 + \exp(\text{LOGIT})\}$

* $\ln(\circ)$ は自然対数、 $\exp(\circ)$ は指数関数を表す。

回帰式の記号のまとめ

数	係数	内容
HTの2乗項	h2	高温指数 (High Temperature) の2乗項
HT	h1	高温指数
LTの2乗項	l2	低温指数 (Low Temperature) の2乗項
LT	l1	低温指数
RF	r	降水指数 (Rain Fall)
DD	d	乾燥指数 (Dry Days)
WP	w	風指数 (Wind Power)
HM	m	湿度指数 (Humidity)
TIME	t	時間項
—	I	定数 (Invariable)
Da1～Da10	da1～da10	地域区分ダミー (Dummy Area)
Dm1～Dm11	dm1～dm11	月ダミー (Dummy Month)

※ ただし、Dm*とdm*は、*=1～8、10～11の10個で、*=9のものは無し

2 | 将来の人口の推移には「日本の将来人口推計」を用いる

死亡率シナリオをもとに、将来の死亡数の予測を行うためには、将来の人口の推移が必要となる。ここでは、国立社会保障・人口問題研究所が公表している「日本の将来人口推計(令和5年推計)」を用いることとする。将来の不確実性が大きい出生率と死亡率について、それぞれ高位、中位、低位の3つのケースの推計が行われており、全部で9つの推計結果が公表されている。そのうち、本稿の試算では、出生率と死亡率がいずれも中位の「出生中位(死亡中位)推計」の結果を用いる。

この推計には、全国推計の表として2020~2070年の推計結果があり、さらに参考表として2071~2120年までの推計結果が公表されている。ただし、これらは、全国推計であり、都道府県別とはなっていない。都道府県別には、「日本の地域別将来推計人口(令和5年推計)」として2020~2050年の推計結果が5年ごとに公表されている。つまり、次の3つの統計表が公表されている。

- ①日本の将来人口推計 表 1-9 男女年齢各歳別人口(総人口):出生中位(死亡中位)推計
- ②日本の将来人口推計 参考表 1-9 男女年齢各歳別人口(総人口):出生中位(死亡中位)推計
- ③日本の地域別将来推計人口 都道府県・市区町村の男女・年齢(5歳)階級別将来推計人口

そこで、①と②をもとにして、③から定まる比率を用いて地域区分別に按分して将来人口を計算する。③から定まる比率は、当該年から見た直近の年の比率を用いることとする。

このようにして、男女別、5歳群団(21群団)別、地域区分(11区分)別に、2023~2100年の人口の推移を設定する。なお、各年の人口は10月1日時点のものであるため、月ごとの人口を設定する際には、前後の10月1日の人口を月単位で按分する。

3 | 死亡率に人口を掛け算したものを月単位の死亡数に調整する

ここで、死亡率と死亡数の関係について整理しておく。一般に、死亡率は、人口に対する一定期間の死亡数の割合として表される。保険会社などで保険料や責任準備金などの計算に用いられる場合、一定期間は1年間とされることが多い。このため、一定期間を1年間として1ヵ月間の死亡動向が1年間継続することを仮定した場合の死亡率を予測している。

そこで、この年換算の死亡率を用いて、ある月の死亡数を計算する際には、次の関係式の通り、死亡率を調整したうえで人口を掛け算する必要がある。

【死亡率と死亡数の関係式】

$$\begin{aligned} \text{1ヵ月間の死亡数} &= \text{人口} \times \{ 1 - (1 - \text{年換算の死亡率})^{1/12} \} \\ (\text{年換算の死亡率} &= 1 - (1 - \text{1ヵ月間の死亡数}/\text{人口})^{12}) \end{aligned}$$

これは、上記の括弧内の式の通り、1ヵ月間の生存率を12乗することで、その生存率が1年間続くものとして、年換算の生存率を計算し、これを1から差し引いて、年換算の死亡率を計算する考え方をもとにしている。実際には、季節によってその動向は異なるため、年換算の死亡率は、架空の死亡率となる点に注意が必要と言える。

4 | 死亡率の改善トレンドの織り込みは、予測開始から当初 10 年間とする

第 2 章で述べた通り、回帰式には、時間項を設定する。これは、時間に応じた死亡率の改善トレンドを将来の死亡率の予測に織り込むためのものである。

今回、2100 年までの長期間の死亡率を予測するにあたり、単純に時間項を導入すると、死亡率の改善トレンドが 70 年以上もの長期間に渡って継続するものと見込むこととなる。ただし、このようにトレンドが長期間継続する保証はない。

例えば、異常無(老衰等)の死亡率の実績を見ると、2000 年頃まで低下していたが、2000 年代にはほぼ横這いとなり、2010 年頃より緩やかな上昇に転じている。現在の上昇トレンドは最近 10 年程度に見られるものだが、このトレンドが将来どのように継続または変化するのかは、何とも言えない。

このように、現在の死亡率のトレンドが、必ずしも将来の長期間にわたって継続するとは限らないことを踏まえると、単純に時間項を導入する取り扱いが適切とは言いがたいであろう。

そこで今回、回帰式の作成にあたり、2009～2019 年(2011 年を除く)の約 10 年分のデータを学習データとして用いていることを踏まえて、時間項による死亡率のトレンドの織り込みは、予測開始時から当初 10 年間(2023～2032 年)とし、その後は時間の経過を見ない(回帰式中の TIME 変数を増加させない)こととする。

このように、時間項による死亡率改善の期間を限定することにより、気候変動以外の要素での死亡率の上昇・低下トレンドは長期的には消失する形となる。

5 | 死亡数計算結果の人口への反映は行わない

一般に、気候変動により死亡率が変化すれば、それに応じて死亡数も変わり、その後の人口減少に影響が及ぶものと考えられる。このような気候変動と人口の間のフィードバック効果を織り込めば、死亡率や死亡数の予測は高度化するであろう。ただし、それにより、モデルが著しく複雑なものとなることは不可避となる。

今回は、死亡率と気候指数の関係式をもとに将来の死亡率を予測して、気候変動が人の死亡にどの程度影響を及ぼしうるのか、を試算することが主な目的である。その目的を踏まえて、試算をシンプルにして結果をわかりやすく解釈するために、死亡数計算結果の人口への反映は行わないこととする。

5—試算結果

前章までの各種設定にもとづいて試算を行った。本章では、その結果を見ていくこととしたい。

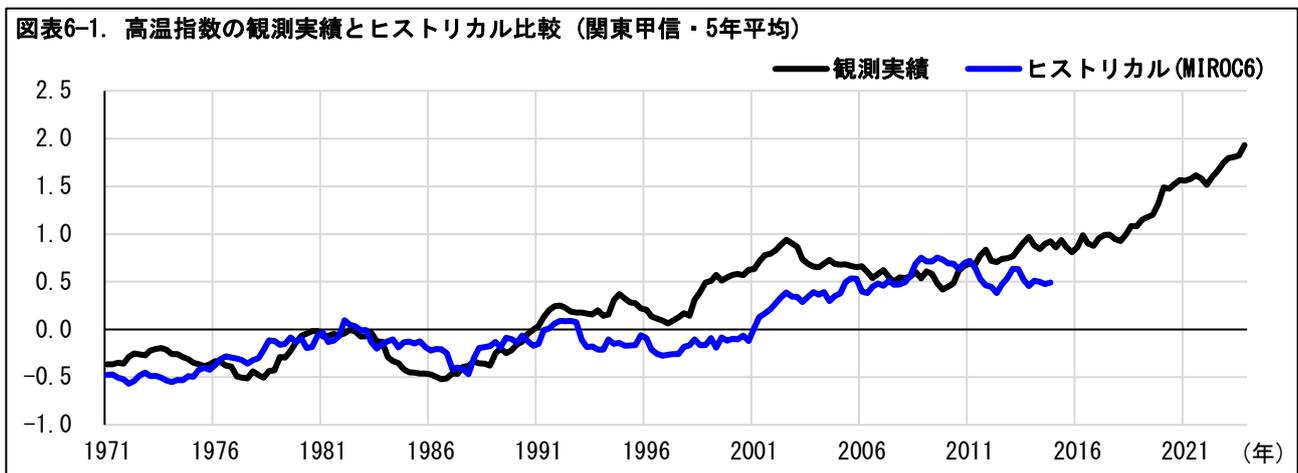
1 | 高温、低温、降水、湿度の指数について観測実績とヒストリカルの推移は類似している

まず、気候指数の推移から見ていく。本稿では、関東甲信(父島と南鳥島を除いた 23 地点ベース)の気候指数を計算した。以下では、5年平均の各気候指数の推移をグラフ化している。

最初に気候指数ごとに、過去(1971-2023 年)の期間について観測実績とヒストリカルデータによる指数を比較して表示する。ヒストリカルは 2014 年までのデータをもとに指数を作成したため、その年次までの表示となっている。両者の比較を通じて、MIROC6 モデルの結果をもとに作成した気候指数が、実績とどの程度類似しているかを確認していく。

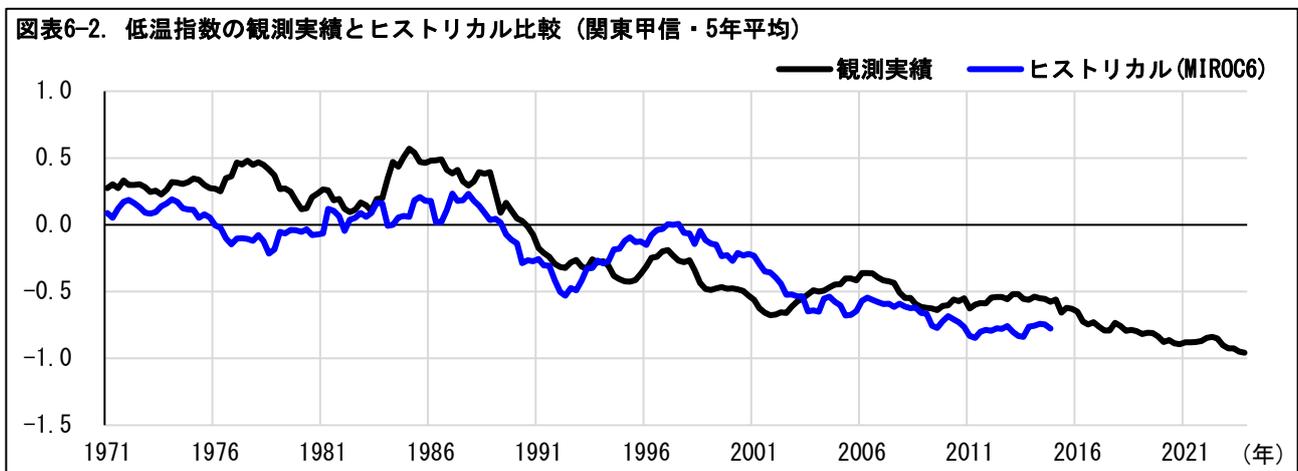
(1) 高温指数

高温指数は、上昇傾向にある。1971-2014年の状況を見ると、観測実績とヒストリカルは類似した動きをしていると言える。



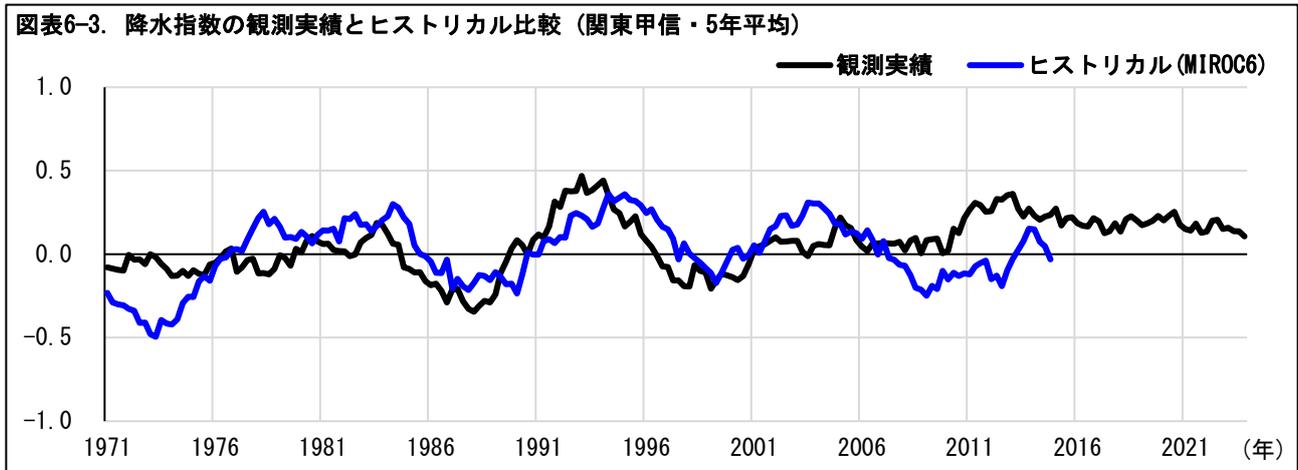
(2) 低温指数

一方、低温指数は、低下傾向にある。1971-2014年の状況を見ると、観測実績とヒストリカルは概ね近接していると言える。



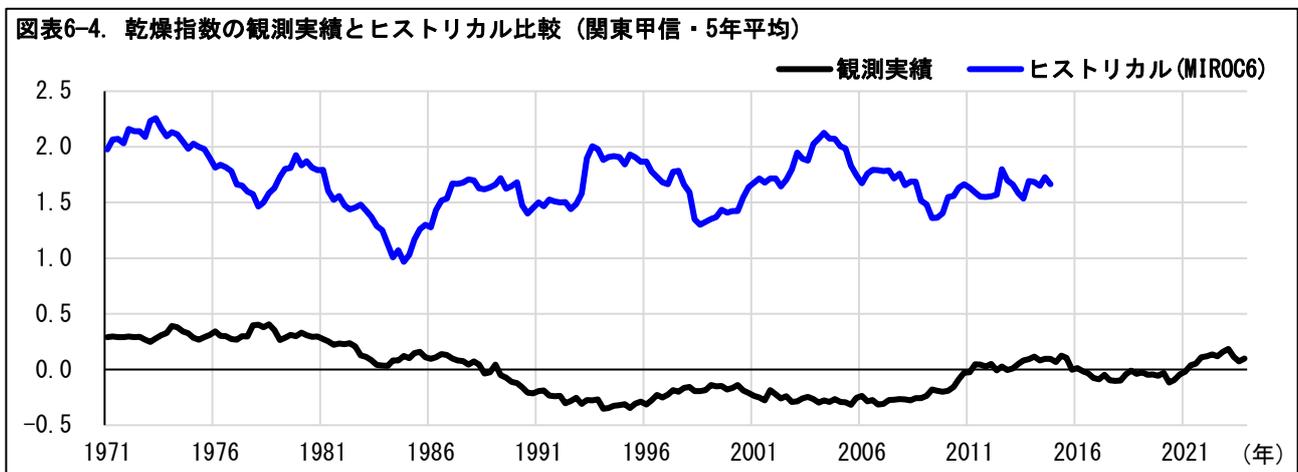
(3) 降水指数

降水指数は、ゼロ近辺で推移している。1971-2014年の状況を見ると、観測実績とヒストリカルは概ね近接していると言える。



(4) 乾燥指数

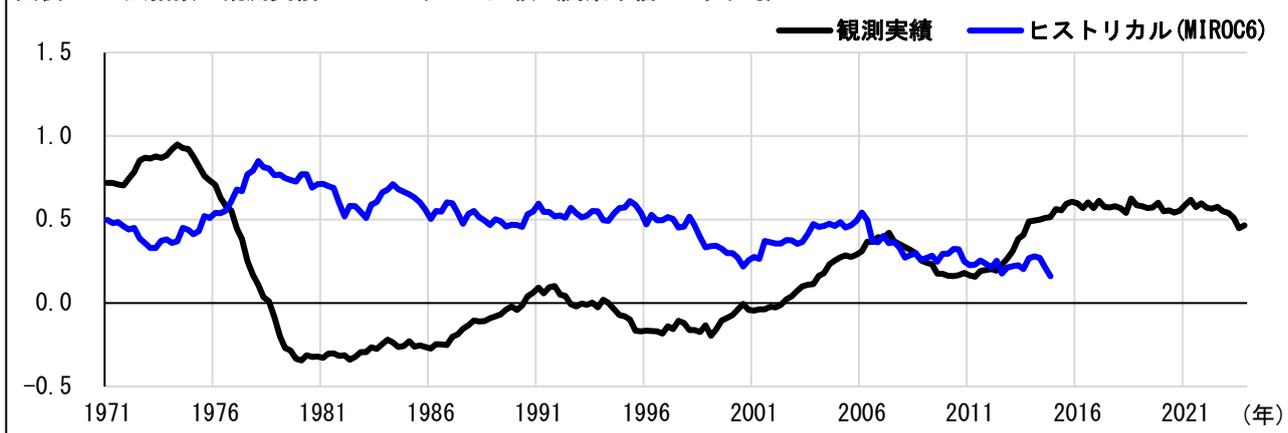
乾燥指数は、観測実績がゼロ近辺、ヒストリカルが概ね 1~2 の近辺で、一定の乖離幅を保ちつつどちらも横ばいで推移している。両者の差は、ヒストリカルにおいて、降水現象の有無に関する「現象なし情報」についてのみなし(観測地点を取り囲む 4 つの 1km 格子点の降水量がすべてゼロであった場合に、降水の「現象なし」とみなす)が、実態よりも乾燥の判定につながりやすいことによるものと見られる。



(5) 風指数

風指数は、近年プラスの値で推移している。観測実績は 1970 年代後半に低下し、その後緩やかな上昇傾向にあるのに対し、ヒストリカルは低下している。ただし、2000 年代以降、いずれも概ね 0~0.5 の近辺で推移している点は類似している。

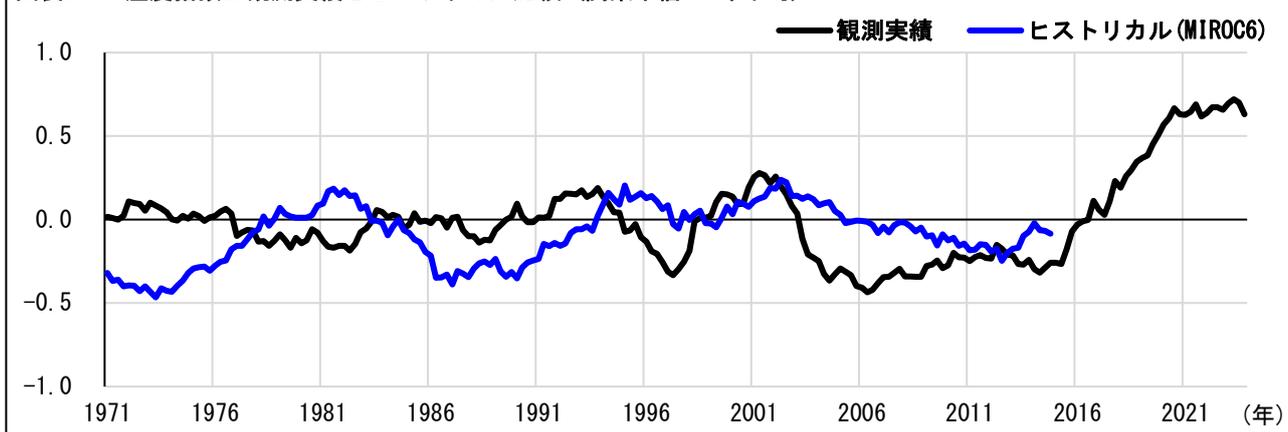
図表6-5. 風指数の観測実績とヒストリカル比較（関東甲信・5年平均）



(6) 湿度指数

湿度指数は、2010年頃までゼロ近辺で推移していた。2010年代半ばからは、上昇している。2010年頃までは、観測実績とヒストリカルは近接した動きをしていると言える。2010年代半ば以降については、比較ができないため何とも言えない。

図表6-6. 湿度指数の観測実績とヒストリカル比較（関東甲信・5年平均）



以上をまとめると、高温、低温、降水、湿度の指数について、観測実績とヒストリカルの気候指数は類似していると言える。第3節では、このMIROC6データから計算される将来の気候指数をもとに、死亡率の予測を行っていく。

2 | 高温指数で、SSP5-8.5は他の経路に比べて大きく上昇

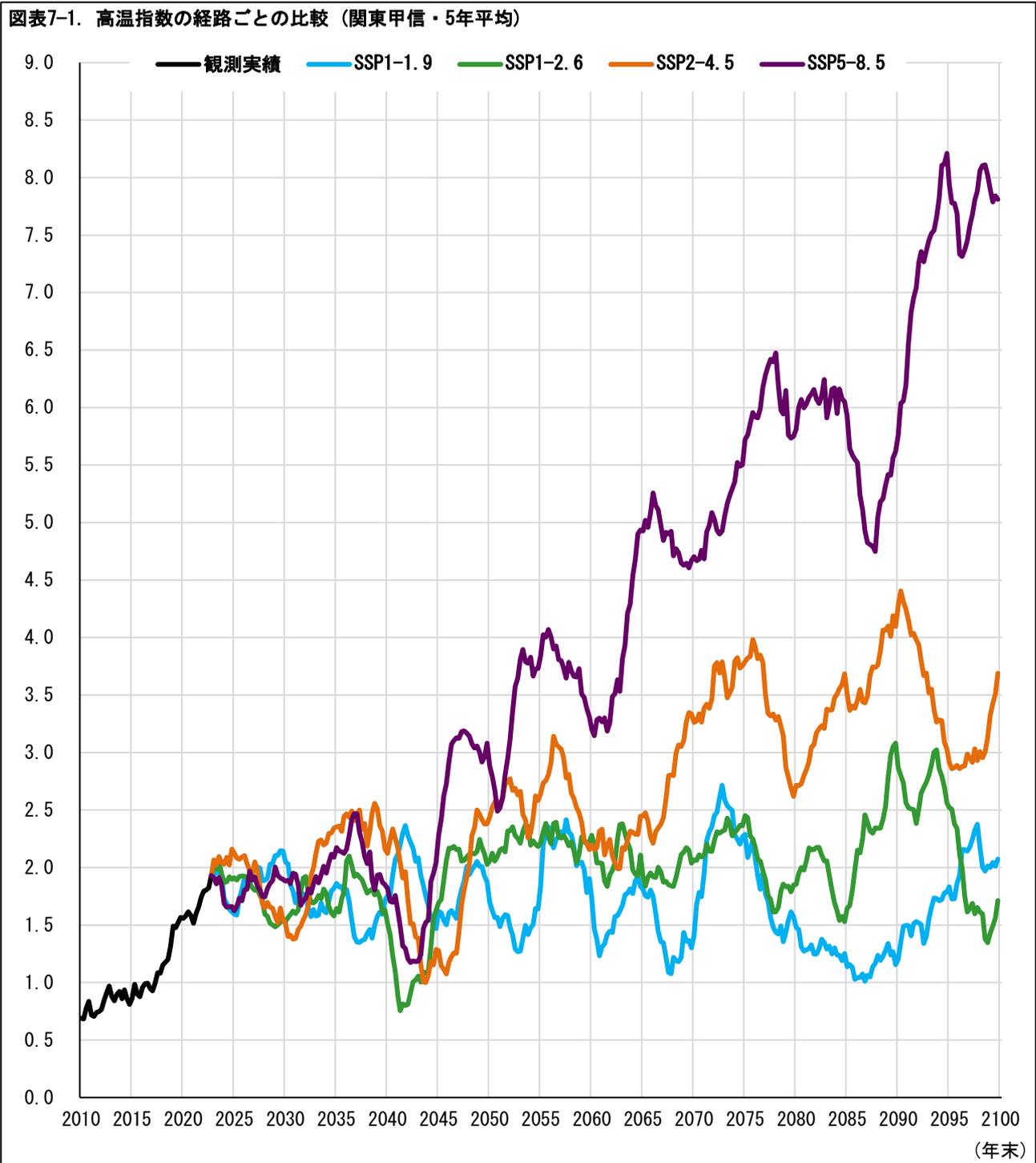
次に、将来(2024-2100年)の期間における、経路ごとの気候指数の推移を見ていく。ここでは、経路ごとの将来データの違いが、どのように気候指数の形で反映されているかを確認していくことが主な目的となる。

なお、過去の観測実績との接続(2024年)の前後で、気候指数の上昇や低下などの傾向がどのように変化しているかを見るために、2011-2023年の観測実績もあわせて表示する。

(1) 高温指数

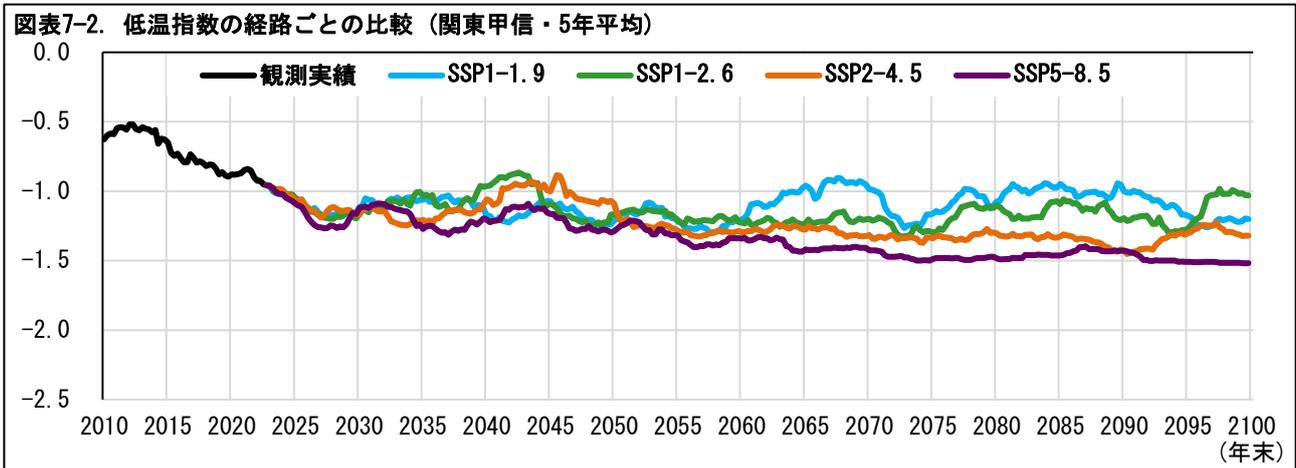
高温指数は、過去の観測実績が上昇傾向を示している。SSP1-1.9の経路では、高温指数は上下の振動を繰り返しながら、概ね横這いで推移している。SSP1-2.6の経路も当面は横這いで推移するが、2080年代半ばより上昇し、2090年頃には3に達することもある。ただし、その後は低下している。SSP2-4.5の経路では、高温指数は2060年代後半以降、10年程度での長さで上下動を繰り返し、2080年代に4を超えている。SSP5-8.5の経路では、高温指数は2090年代に8を超えている。

このように、高温指数は、経路ごとの違いが顕著と言える。なお、過去の観測実績との接続には、特に問題はないものとみられる。



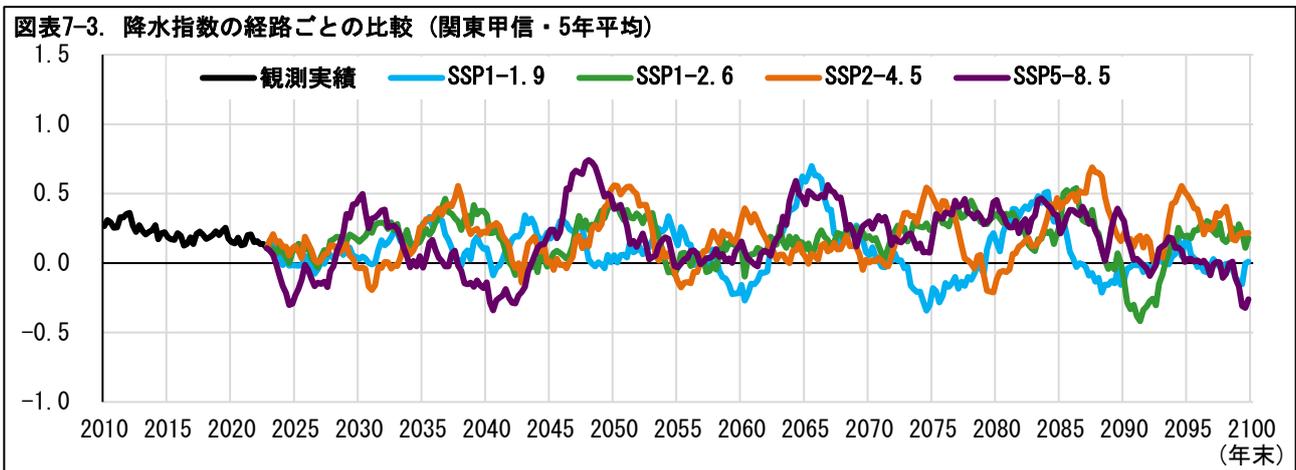
(2) 低温指数

低温指数は、過去の観測実績が低下傾向を表している。SSP1-1.9 と SSP1-2.6 の経路では、この低下傾向が消失し、低温指数は概ね横這いで推移するものとなっている。SSP2-4.5 の経路では、低下傾向は残るものの、なだらかな低下で推移するものとなっている。一方、SSP5-8.5 の経路では、低下傾向が続き、低温指数は-1.5 近辺にまで下がる。なお、過去の観測実績との接続には、特に問題はないものとみられる。



(3) 降水指数

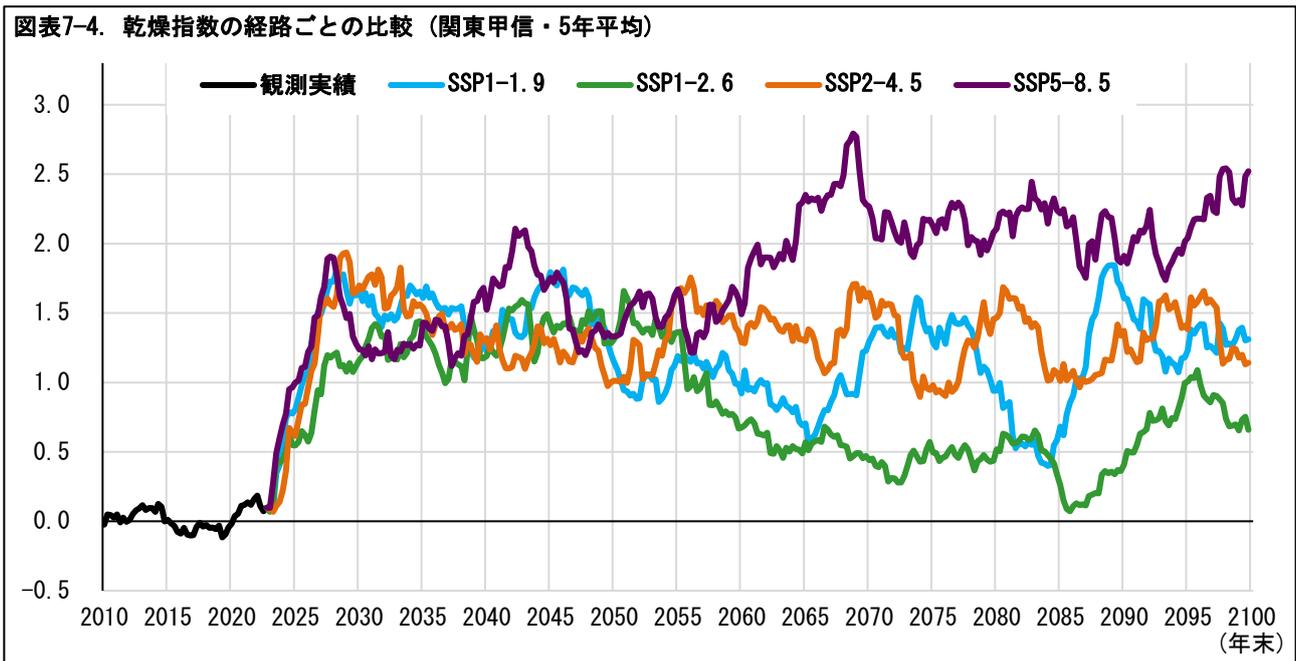
降水指数は、過去の観測実績ではゼロ近辺で推移してきた。SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP5-8.5 の4経路とも、一貫した上昇や低下の傾向は見られないが、いずれも、数年ごとに上昇と低下を繰り返して推移する形となっている。なお、過去の観測実績との接続については、各経路で変動の幅がやや大きくなる形となっている。



(4) 乾燥指数

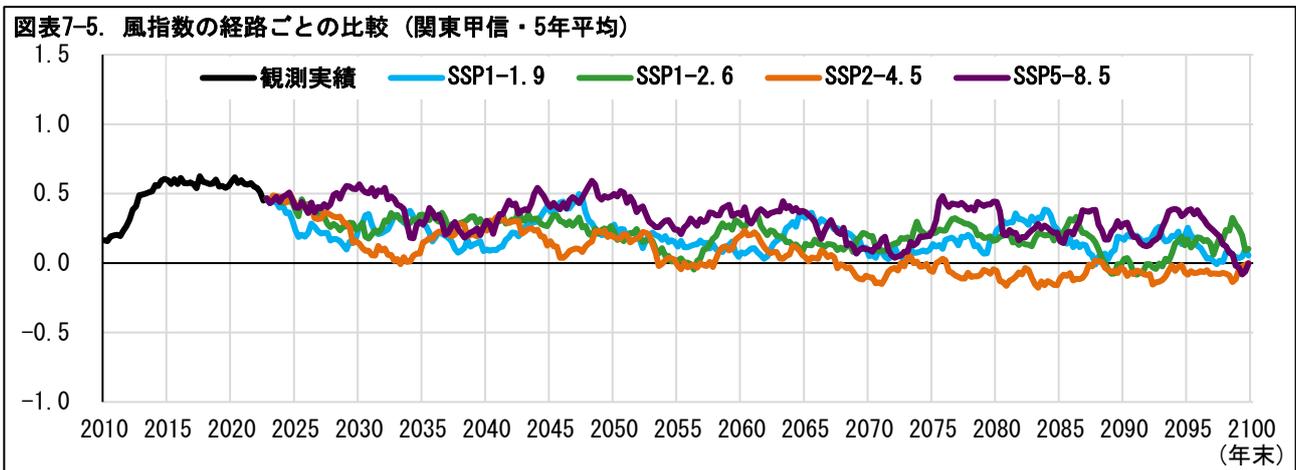
乾燥指数は、過去の観測実績ではゼロ近辺で推移してきた。SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP5-8.5 の4経路とも上昇して、2030年代には1~2程度の水準で推移するものとなっている。その後、2050年代後半から、各経路間の違いが表れ始める。SSP1-2.6の経路では乾燥指数は概ね1を下回る水準で推移する。一方、SSP5-8.5の経路では、乾燥指数は、2.5を超える水準にまで上昇する。

なお、過去の観測実績との接続については、各経路での2020年代の上昇(上昇幅 +1~+2 程度)がやや目立つものとなっている。



(5) 風指数

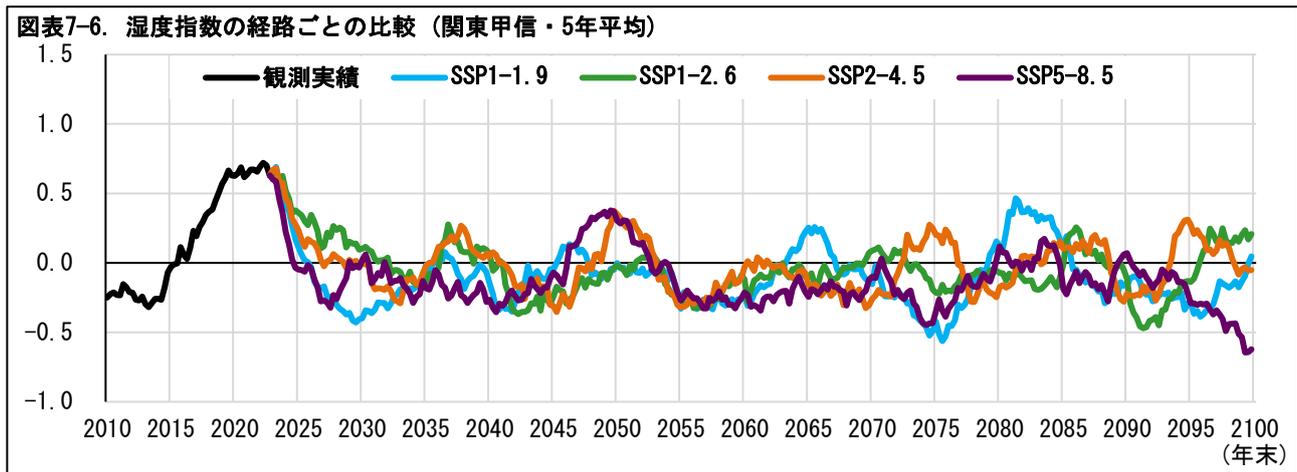
風指数は、観測実績では近年プラスの値で推移してきた。SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5の経路では、この水準が徐々に低下し、ゼロ近辺で推移するものとなっている。SSP5-8.5の経路でも、指数は低下するものの、その低下のスピードは他の3経路に比べて緩やかなものとなっている。なお、過去の観測実績との接続には、特に問題はないものとみられる。



(6) 湿度指数

湿度指数は、過去の観測実績では、2010年頃までゼロ近辺で推移していた。2010年代半ばからは、一転して上昇している。SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP5-8.5の4経路とも、湿度指数は低下して、ゼロ近辺で推移するものとなっている。その後も、一貫した上昇や低下の傾向は見られない。いずれも、数年ごとに上昇と低下を繰り返して推移する形となっている。なお、過去の観測実績との接

続については、各経路での 2020 年代の低下(低下幅 -1~-0.5 程度)がやや目立っている。



以上をまとめると、高温、低温、乾燥の指数について、経路間の違いが鮮明となっている。特に、高温指数については、SSP1-1.9 や SSP1-2.6 の経路では概ね横這いで推移する一方、SSP2-4.5 の経路では 4、SSP5-8.5 の経路では 8 近くにまで上昇するなど、違いが顕著となっている。一方で、降水、風、湿度の指数については、経路間の違いはあまり見られない形となっている。

なお、過去の観測実績との接続については、乾燥については各経路での 2020 年代の上昇、湿度については低下がやや目立っている。高温、低温、降水、風は、特に問題はないものとみられる。

3 | 気候指数が死亡率に与える影響割合は 2% 弱

続いて、気候指数と死亡率の関係式(回帰式)について、計算結果を見ていく。回帰式は、前回のレポート(2024 年 1 月 18 日のレポート)と同様、東日本大震災と、コロナ禍の影響を除いた直近の 10 年として、2009-2019 年(2011 年を除く)の死亡率と気候指数から算定する。このため、説明変数の係数は、前回のレポートのものと大きくは変わらない。ただし、気候指数の作成にあたり、(1)父島・南鳥島の気象データを用いないことと、(2)回帰式の説明変数から海面水位指数を除去したことの、2 つの違いから、算定された回帰式の係数は前回のレポートの値からは変化している。

ここで、回帰式における気候指数の影響を見ておこう。まず、回帰式ごとに係数を標準化³¹して相互に比較可能とする。この標準化した後の変数は、「標準偏回帰係数」と呼ばれる。その上で、気候指数の標準偏回帰係数の和の絶対値を分子に、その数値と時間項の標準偏回帰係数の絶対値と各ダミー変数の標準偏回帰係数の絶対値の和を分母にとる。そして、その分数の値を、気候指数が死亡率に与える影響割合とみなすこととした。³²

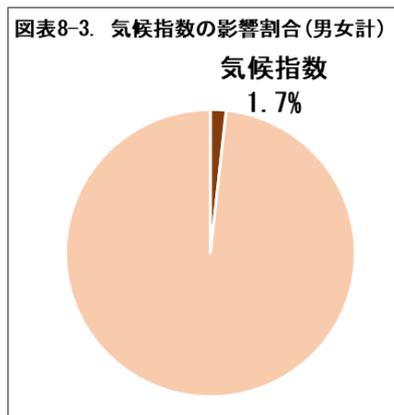
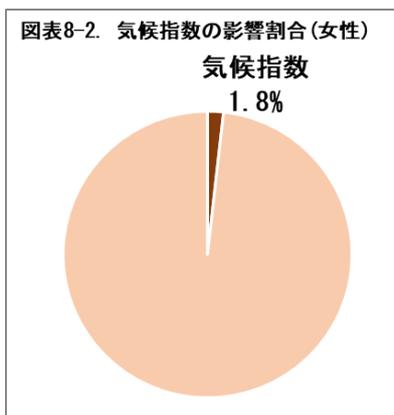
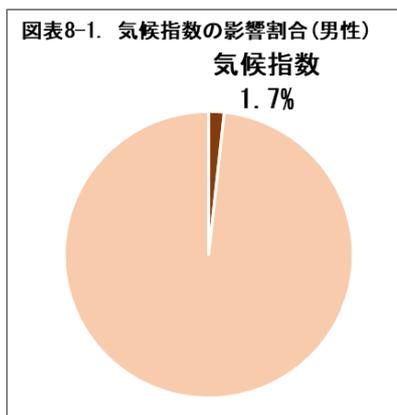
回帰式は全部で 504 本あり、この影響割合の値はその本数の数だけ得られる。そこで、2018~22 年の死亡数の実績をもとに、この割合の値を加重平均して、割合の平均値を求めることとした。

その結果、気候指数の影響割合は、男性 1.7%、女性 1.8%、男女計 1.7%となった。2%程度としていた前回のレポートでの割合を、やや下回る水準となった。³³

³¹ 標準化は、係数に当該説明変数の標準偏差を掛け算し、目的変数の標準偏差で割り算して行う。

³² 説明変数間の相関関係を考慮せずに簡易な計算を行った。

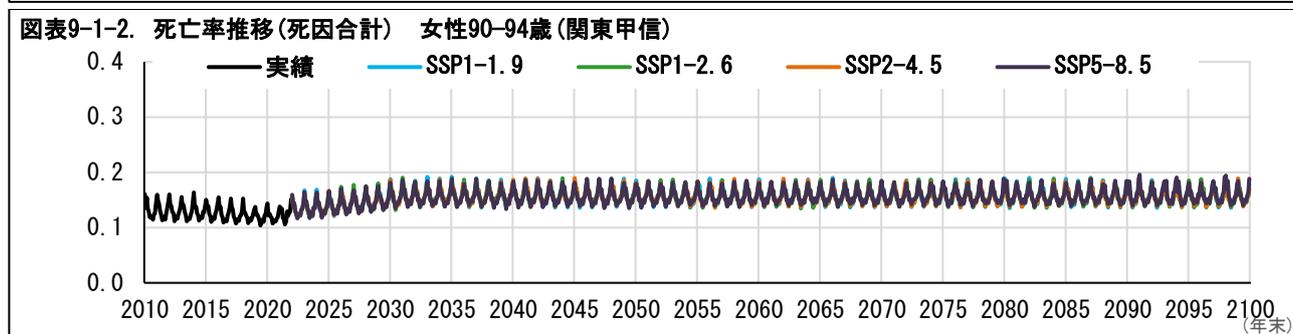
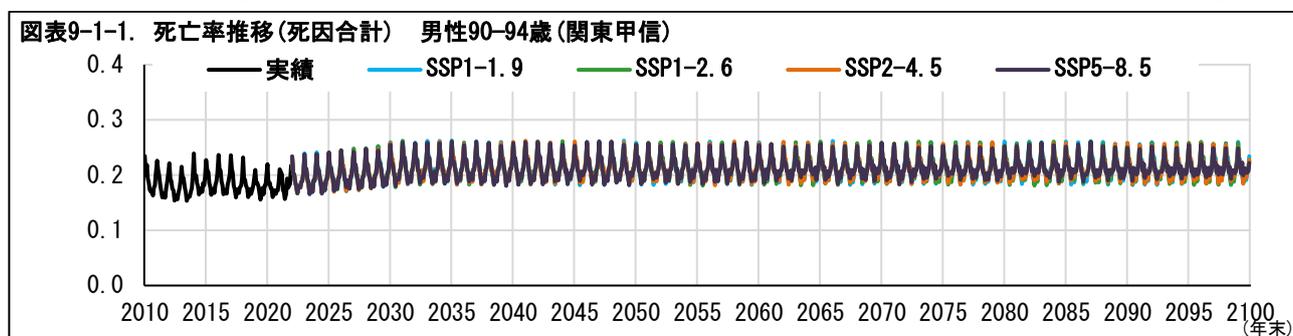
³³ 今回、回帰式において海面水位の項を除去したことが、主な原因と考えられる。



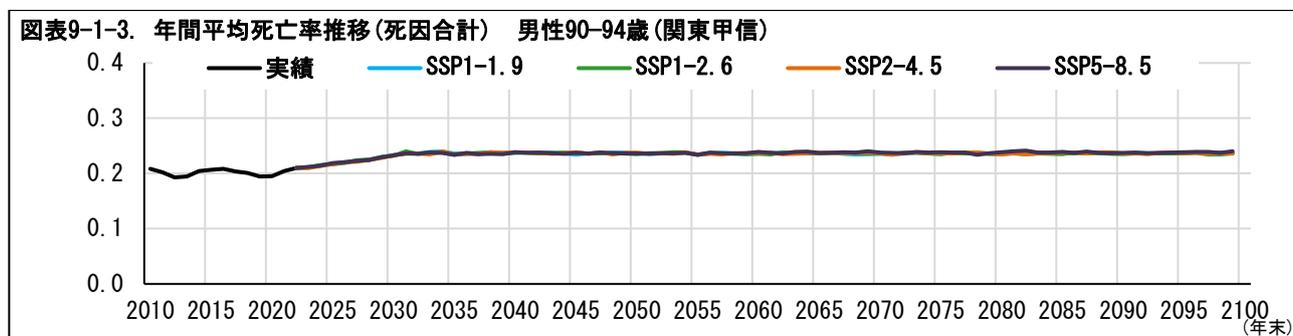
4 | 死亡率は、2060年代以降、SSP5-8.5の経路がSSP1-1.9の経路を上回ることが多くなる

気候指数と死亡率の関係式(回帰式)に各経路に応じた気候指数を代入して、死亡率の推移をグラフ化した。各グラフは、関東甲信の男性と女性の90-94歳の死亡率³⁴を表している。

まず、死因合計。死亡率は、冬期に上昇、夏期に低下して、細かい上下動を繰り返している。³⁵

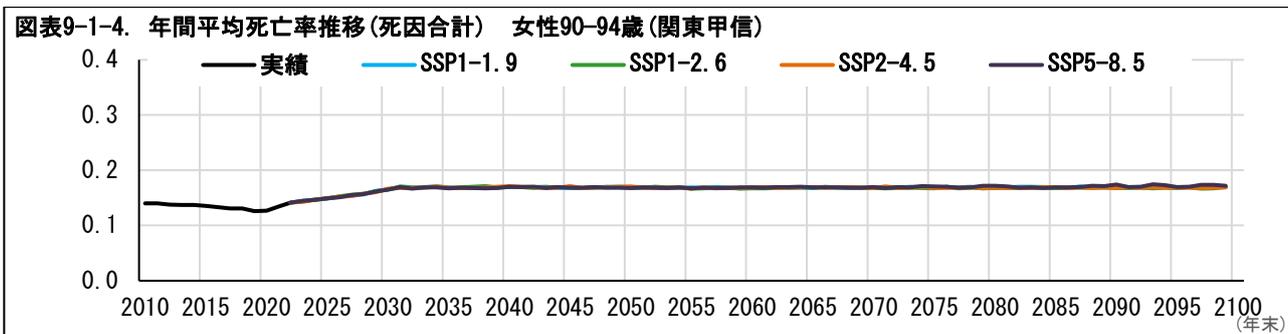


この上下動をならすために、年間平均死亡率の推移を表示すると次の通りとなる。

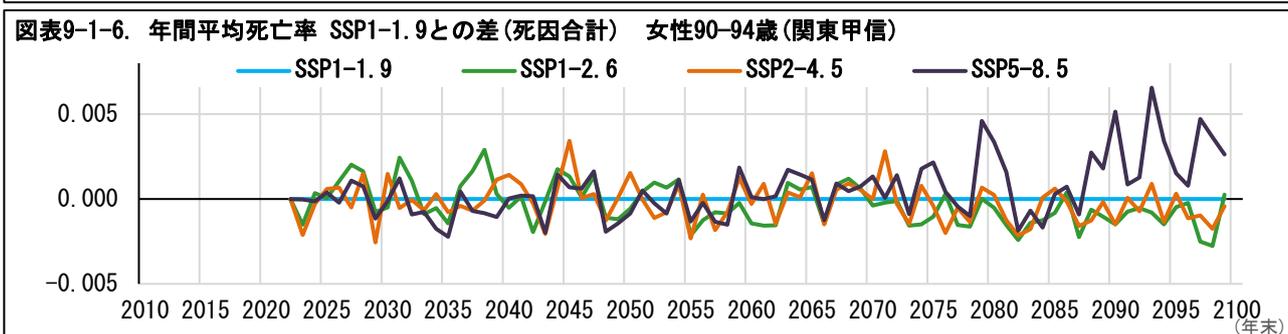
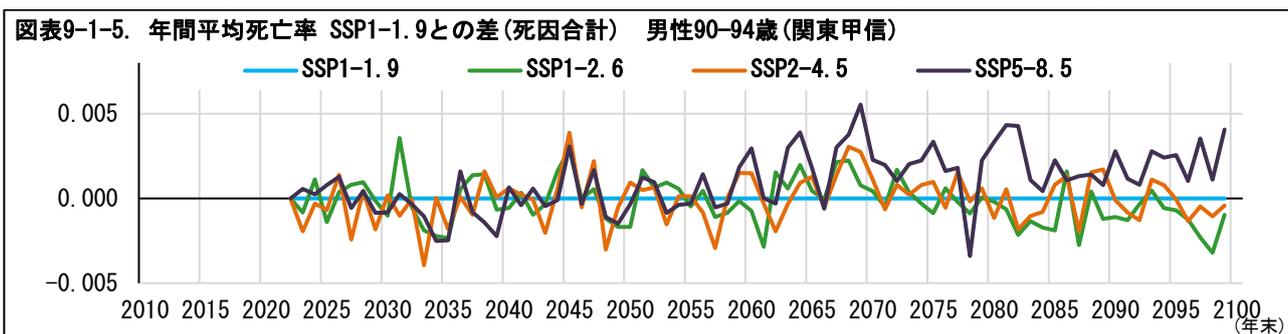


³⁴ 今世紀中に平均寿命が延伸することを見越して、90-94歳の年齢群団を対象に、死亡率をグラフで表示していくこととした。

³⁵ 次節の死亡数の計算には、この死亡率を用いている。

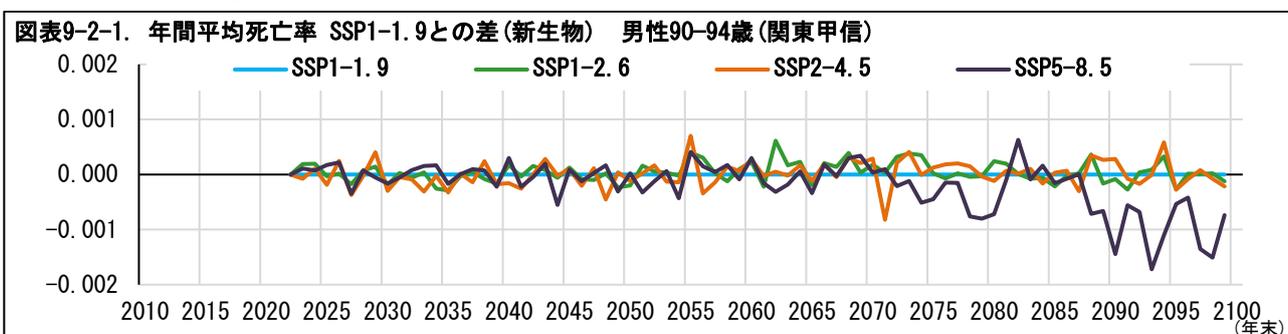


経路ごとの違いを明らかにするために、SSP1-1.9の経路を基準として、それとの差を表示すると次の通りとなる。SSP1-2.6とSSP2-4.5は、SSP1-1.9の近辺で推移している。一方、SSP5-8.5は、男性は2060年代以降、女性は2070年代以降で、SSP1-1.9を上回ることが多くなっている。

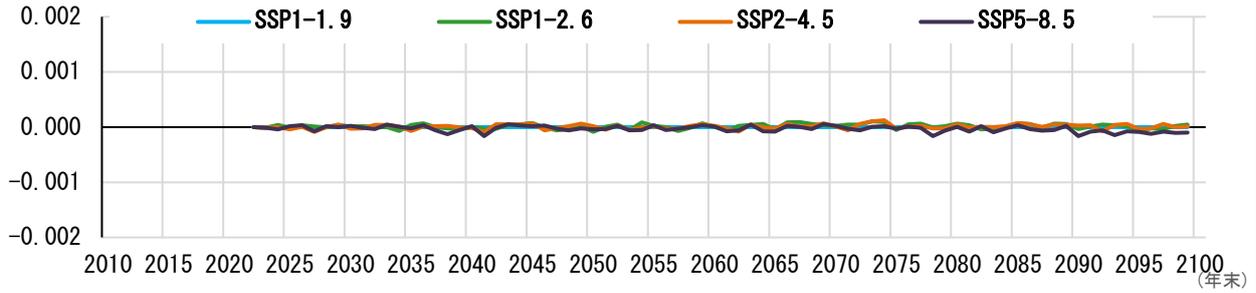


次に、死因別に、年間平均死亡率の SSP1-1.9 との差を見ていく。

新生物の死亡率は、男性は SSP1-2.6 と SSP2-4.5 は、SSP1-1.9 の近辺で推移している。一方、SSP5-8.5 は 2070 年代以降、SSP1-1.9 を下回ることが多くなっている。女性はいずれの経路も SSP1-1.9 近辺で推移している。

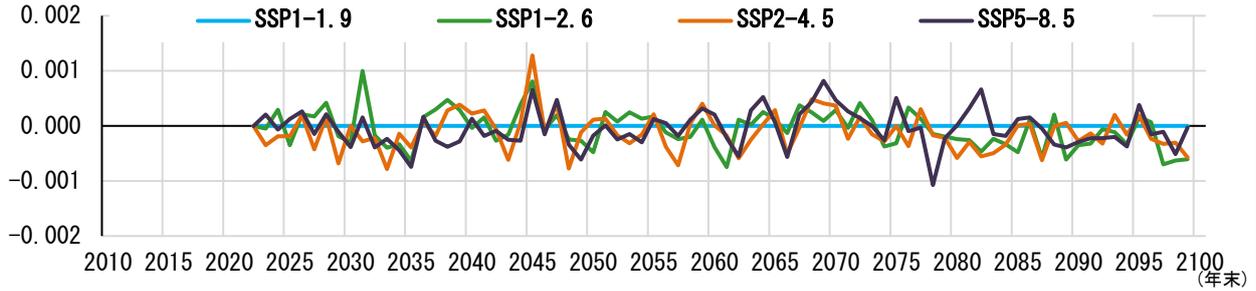


図表9-2-2. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(新生物) 女性90-94歳(関東甲信)

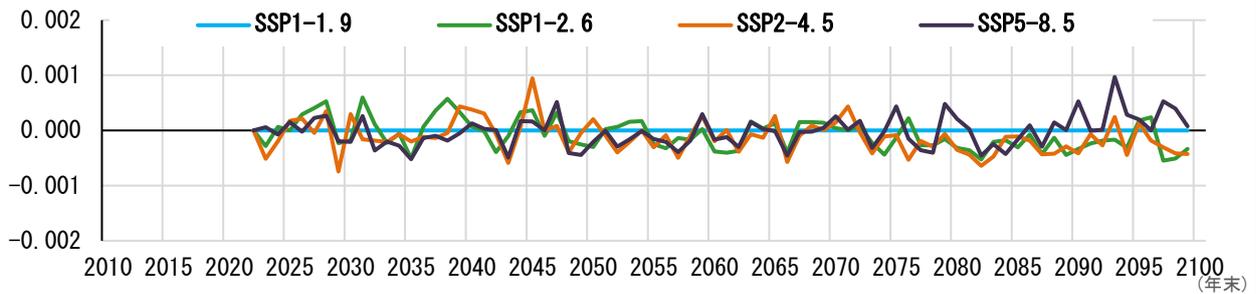


循環器系疾患の死亡率は、経路による違いはあまり見られない。

図表9-3-1. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(循環器系疾患) 男性90-94歳(関東甲信)

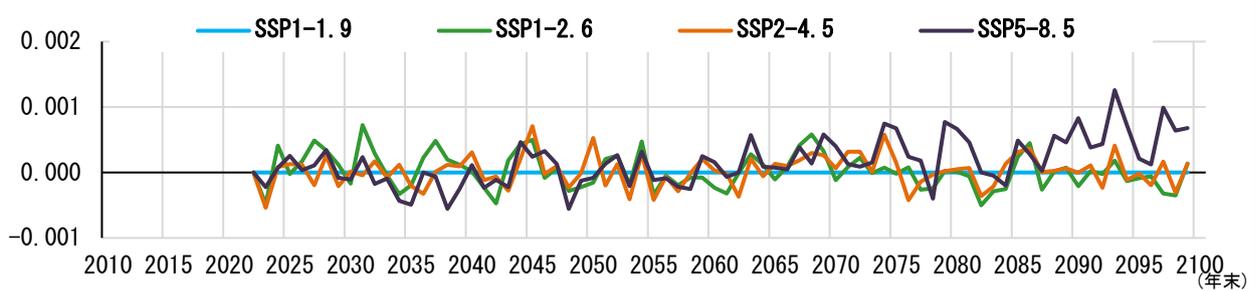


図表9-3-2. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(循環器系疾患) 女性90-94歳(関東甲信)

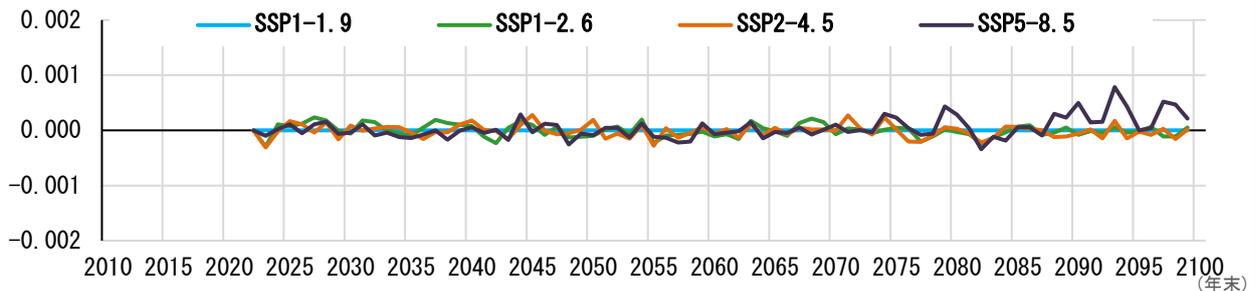


呼吸器系疾患の死亡率は、SSP1-2.6とSSP2-4.5は、SSP1-1.9の近辺で推移している。一方、SSP5-8.5は2070年代以降、SSP1-1.9を上回ることが多くなっている。

図表9-4-1. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(呼吸器系疾患) 男性90-94歳(関東甲信)

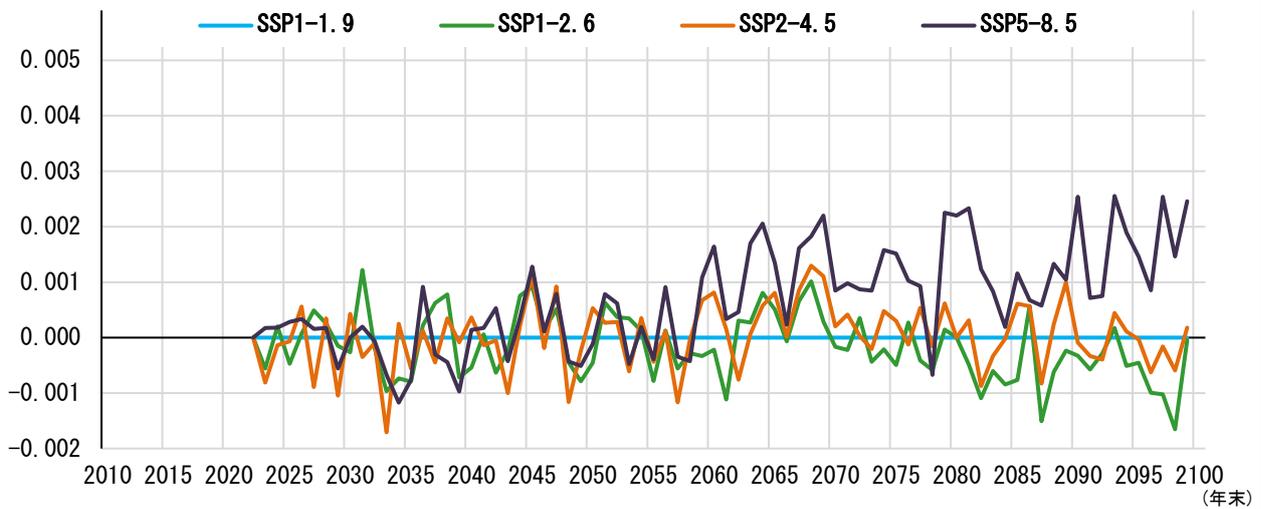


図表9-4-2. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(呼吸器系疾患) 女性90-94歳(関東甲信)

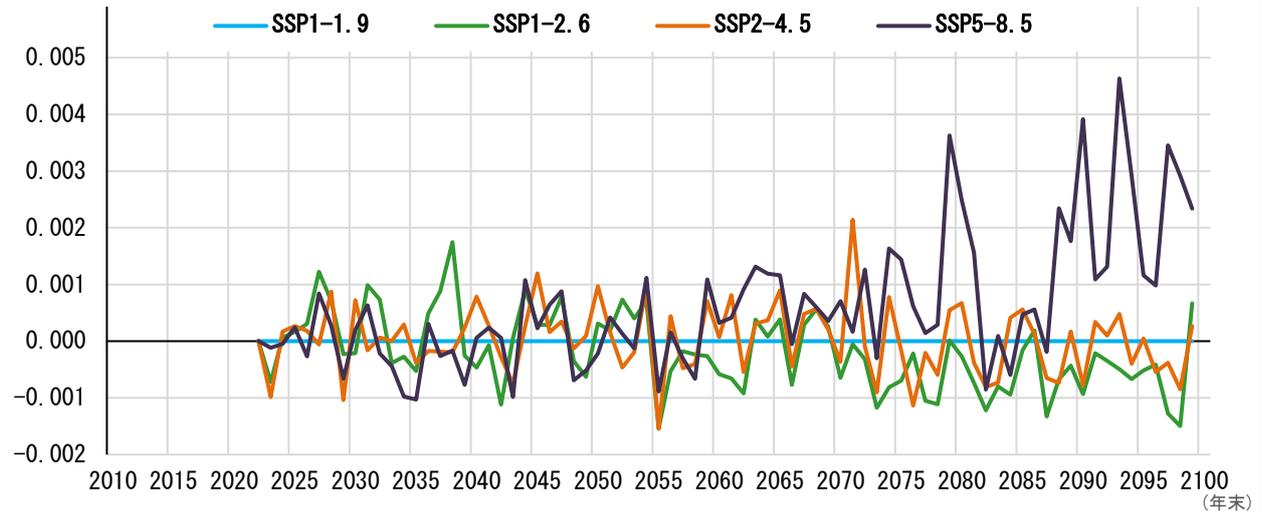


異常無(老衰等)の死亡率は、SSP1-2.6 と SSP2-4.5 は、SSP1-1.9 の近辺で推移している。一方、SSP5-8.5 は2060年代以降、主としてSSP1-1.9を上回っており、その差は経過とともに拡大している。この異常無(老衰等)の差が、死因合計におけるSSP1-1.9とSSP5-8.5の差の主な要因となっている。

図表9-5-1. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(異常無(老衰等)) 男性90-94歳(関東甲信)

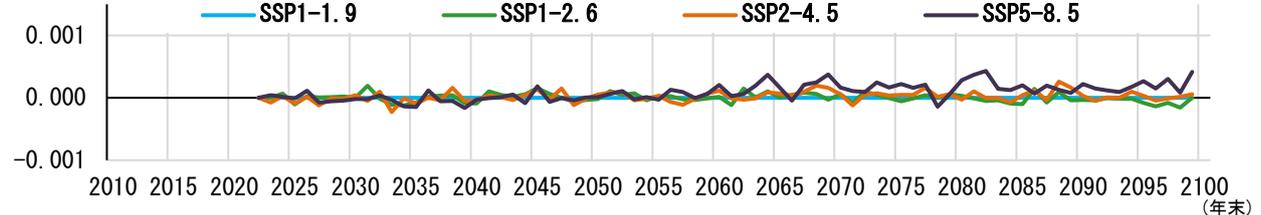


図表9-5-2. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(異常無(老衰等)) 女性90-94歳(関東甲信)

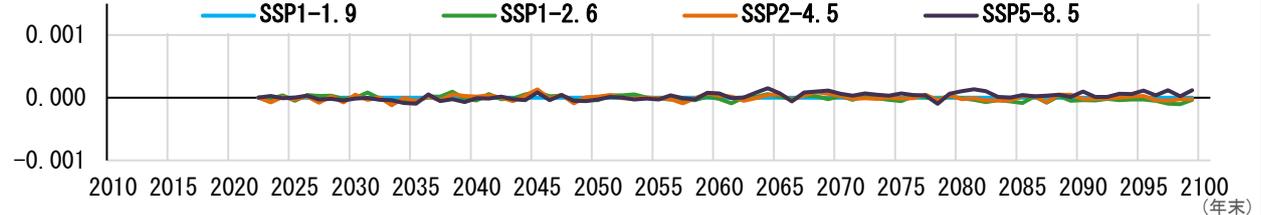


外因(熱中症含)の死亡率は、経路による違いはほとんど見られない。

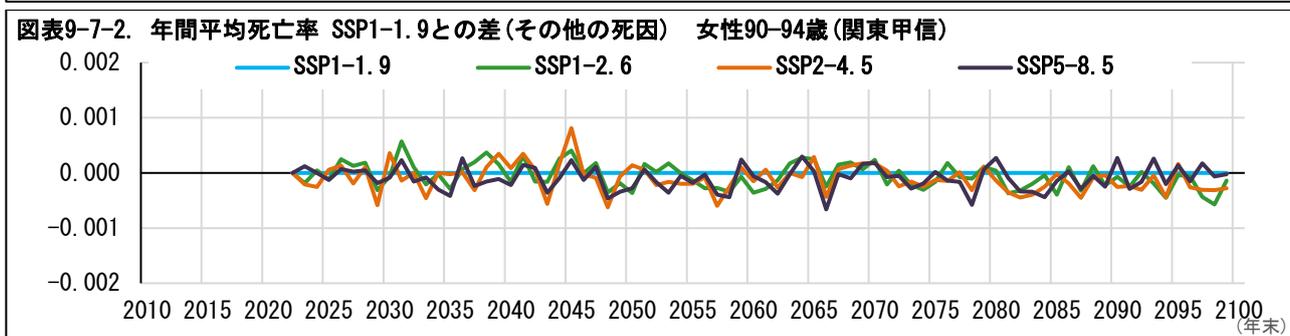
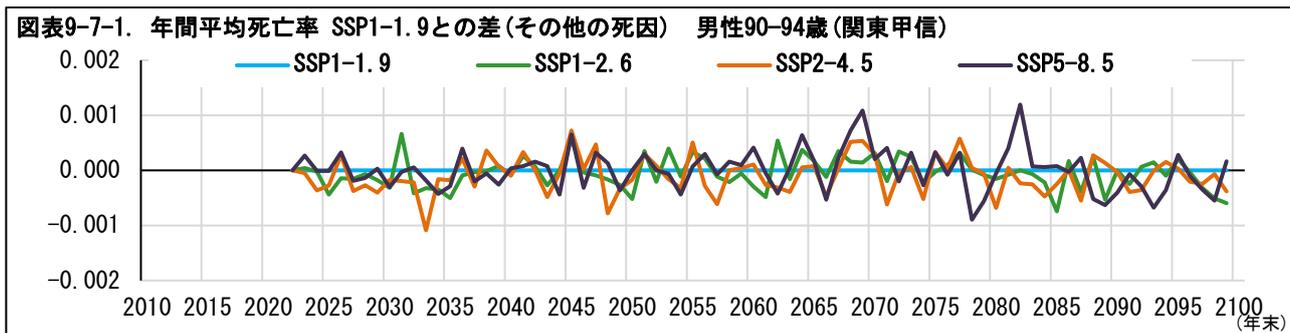
図表9-6-1. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(外因(熱中症含)) 男性90-94歳(関東甲信)



図表9-6-2. 年間平均死亡率 SSP1-1.9との差(外因(熱中症含)) 女性90-94歳(関東甲信)



その他の死因の死亡率は、経路による違いはあまり見られない。

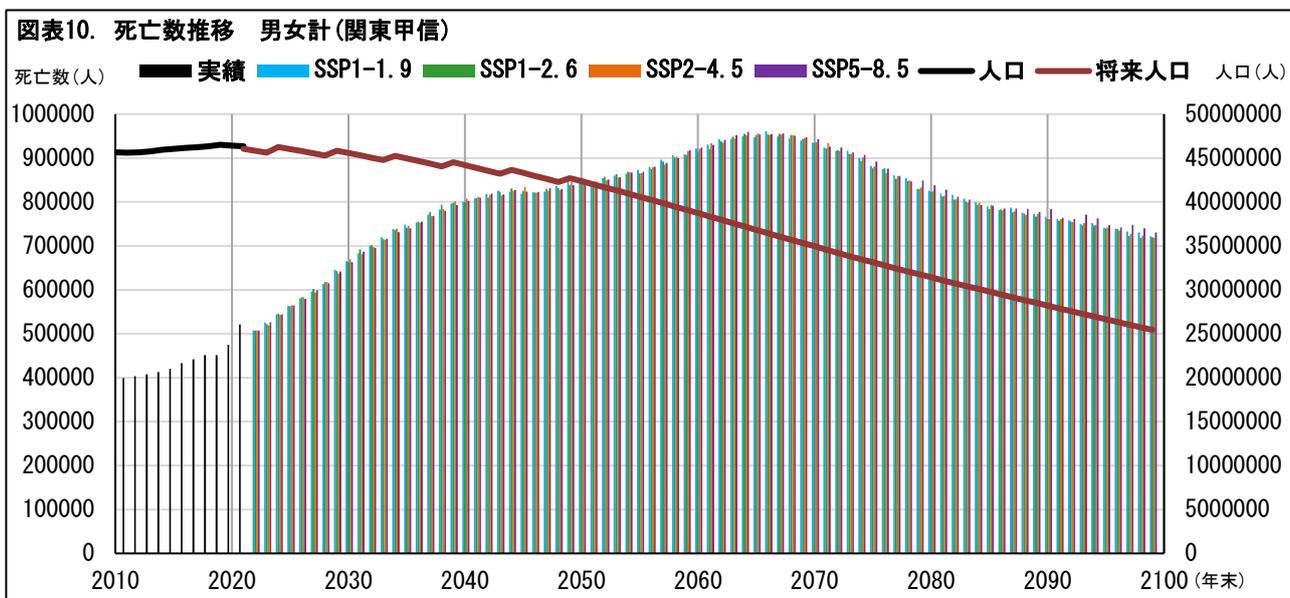


5 | 気候変動が激しくなると、死亡数に一定の影響を及ぼしうる

続いて、死亡数の推移をグラフ化した。死亡数は、死亡率と異なり、人口の増減の影響を受ける。死亡率が上昇しても人口が減れば、死亡数は減少することがある。

将来人口推計の出生中位、死亡率中位の仮定では、2100年に日本の総人口は6278万人(男性3039万人、女性3238万人)と推計されている。これは、2023年の総人口(1億2441万人(男性6046万人、女性6395万人))の約半分の水準となっている。

試算結果を見ると、各経路とも、死亡数は2060年代半ばまで増加後、減少に転じる形となった。³⁶

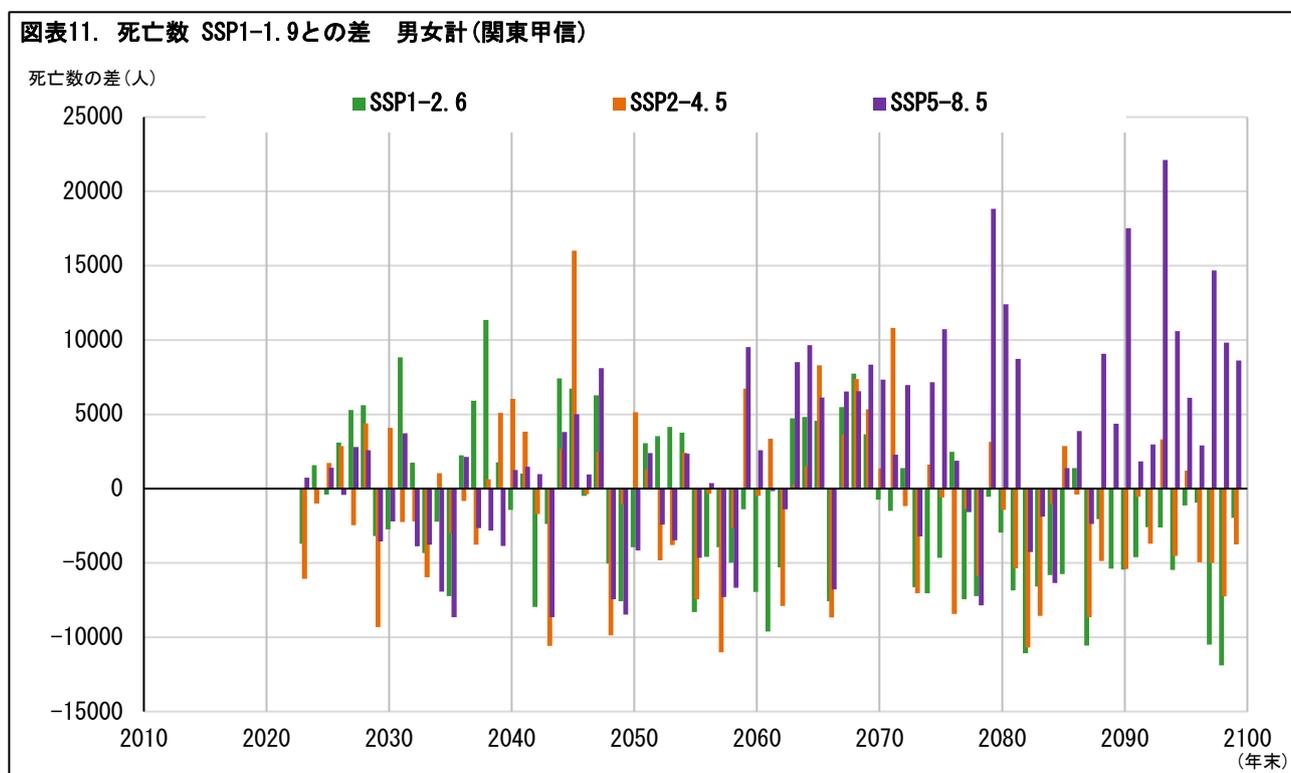


³⁶ 「日本の将来人口推計(令和5年推計)」(国立社会保障・人口問題研究所)の(出生中位・死亡中位)の推計では、2040年代をピークに死亡数が減少するとされている。本稿の試算では、時間項の経過を10年分しか進めていないため、死亡率改善のトレンドが十分に反映されず、死亡数の増加が2060年代まで続く結果となっているものと考えられる。

各経路での死亡数について、SSP1-1.9を基準として、それとの差を表示すると次の通りとなる。

SSP1-2.6とSSP2-4.5は、2060年代まで、SSP1-1.9との差がプラスやマイナスを行き来している。2070年代以降は、主として、マイナスで推移している。

一方、SSP5-8.5は、2050年代まで、SSP1-1.9との差がプラスやマイナスとなっている。2060年代以降は、プラスとなることが多く、その差は経過とともに拡大している。



この様子を、10年間ごとの死亡数としてまとめると、次ページの表の通りとなる。

SSP1-1.9を基準とすると、他の経路では年代ごとに増減が見られる。これは、死亡率と気候指数の関係式(回帰式)のなかに、高温と低温の指数について、2乗の項を盛り込んだことが影響しているものと考えられる。

SSP1-1.9からの増減率を表す()内の数字を見ると、SSP1-2.6とSSP2-4.5は、2060年代までは、プラスやマイナスの年代がある。2070年代以降は、マイナスとなっている。

一方、SSP5-8.5は、2050年代までは、SSP1-1.9からの増減率がプラスやマイナスの年代がある。2060年代以降はプラスとなっており、2091-2100年には、SSP1-1.9より+1.3%増加する、との結果が得られた。

このことから、気候変動が激しくなると死亡数に一定の影響を及ぼしうることがうかがえる。

図表 12. 10 年間ごとの死亡数（関東甲信）

(万人)

		SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5
2021 - 2030	男女計	557.0	557.9 [+0.8] (+0.1%)	556.0 [-1.0] (-0.2%)	557.4 [+0.4] (+0.1%)
	男性	278.1	278.4 [+0.3] (+0.1%)	277.5 [-0.6] (-0.2%)	278.3 [+0.2] (+0.1%)
	女性	279.0	279.5 [+0.5] (+0.2%)	278.6 [-0.4] (-0.2%)	279.1 [+0.1] (+0.0%)
2031 - 2040	男女計	735.8	737.4 [+1.5] (+0.2%)	735.1 [-0.7] (-0.1%)	733.0 [-2.9] (-0.4%)
	男性	340.6	341.1 [+0.5] (+0.1%)	340.1 [-0.5] (-0.1%)	339.1 [-1.5] (-0.4%)
	女性	395.3	396.3 [+1.0] (+0.3%)	395.0 [-0.2] (-0.1%)	393.8 [-1.4] (-0.4%)
2041 - 2050	男女計	822.4	822.0 [-0.3] (-0.0%)	823.1 [+0.7] (+0.1%)	822.1 [-0.3] (-0.0%)
	男性	370.0	369.8 [-0.1] (-0.0%)	370.2 [+0.2] (+0.1%)	369.9 [-0.1] (-0.0%)
	女性	452.4	452.2 [-0.2] (-0.0%)	452.9 [+0.5] (+0.1%)	452.2 [-0.2] (-0.0%)
2051 - 2060	男女計	873.4	872.1 [-1.3] (-0.1%)	871.9 [-1.4] (-0.2%)	872.0 [-1.4] (-0.2%)
	男性	402.8	402.1 [-0.7] (-0.2%)	402.0 [-0.8] (-0.2%)	402.0 [-0.7] (-0.2%)
	女性	470.6	470.0 [-0.6] (-0.1%)	470.0 [-0.6] (-0.1%)	469.9 [-0.7] (-0.1%)
2061 - 2070	男女計	943.1	943.3 [+0.2] (+0.0%)	944.4 [+1.3] (+0.1%)	947.1 [+4.0] (+0.4%)
	男性	423.2	423.6 [+0.3] (+0.1%)	423.6 [+0.4] (+0.1%)	425.0 [+1.8] (+0.4%)
	女性	519.9	519.7 [-0.2] (-0.0%)	520.8 [+0.9] (+0.2%)	522.1 [+2.2] (+0.4%)
2071 - 2080	男女計	889.3	886.1 [-3.2] (-0.4%)	888.5 [-0.8] (-0.1%)	893.5 [+4.3] (+0.5%)
	男性	390.3	389.5 [-0.8] (-0.2%)	390.1 [-0.2] (-0.1%)	391.8 [+1.6] (+0.4%)
	女性	499.0	496.6 [-2.4] (-0.5%)	498.5 [-0.5] (-0.1%)	501.7 [+2.7] (+0.5%)
2081 - 2090	男女計	797.5	791.9 [-5.6] (-0.7%)	793.7 [-3.8] (-0.5%)	800.0 [+2.5] (+0.3%)
	男性	360.6	358.3 [-2.3] (-0.6%)	358.8 [-1.7] (-0.5%)	361.6 [+1.0] (+0.3%)
	女性	437.0	433.7 [-3.3] (-0.8%)	434.9 [-2.1] (-0.5%)	438.4 [+1.5] (+0.3%)
2091 - 2100	男女計	745.3	740.6 [-4.7] (-0.6%)	742.3 [-3.1] (-0.4%)	755.1 [+9.7] (+1.3%)
	男性	337.4	335.5 [-1.9] (-0.6%)	336.0 [-1.4] (-0.4%)	340.8 [+3.4] (+1.0%)
	女性	407.9	405.1 [-2.8] (-0.7%)	406.3 [-1.6] (-0.4%)	414.2 [+6.3] (+1.5%)

※ []は SSP1-1.9 との差、()は SSP1-1.9 からの増減率。2022 年までは実績。(端数処理の関係で計算が完全には合わない場合がある)

6—おわりに（私見）

本稿では、これまでに行ってきた気候指数の作成や、死亡率と気候指数の関係の定量化(回帰式の立式)をもとに、将来の気候変動が死亡率や死亡数に及ぼす影響を試算して、その予測を試みた。

その結果、気候指数が死亡率に与える影響割合は限定的であるが、気候変動が激しくなると死亡数に一定の影響を及ぼしうる、との結果を得ることができた。

ただし、今回得られた結果の解釈にあたっては、いくつかの注意が必要となる。

1 つは、死亡率と気候指数の関係として用いた回帰式は、あくまで相関関係を表すものに過ぎず、因果関係を示すものではない点である。気候変動が人の死亡率に与える影響については、さまざまな要素が複雑に関連しているものと考えられる。そのため、両者の関係の解明については、引き続き、多面的な調査・研究を要するものと考えられる。

もう1つは、今回の試算では、気候モデル、地域区分の面で、限定的な結果が得られたに過ぎない点である。一般に、将来の気候変動とその影響を定量的に予測する際には、複数の気候モデルを用いて、結果の変動幅を見極めることが行われる。これは、数十年もの長期間の予測では、境界条件等のわずかな違いにより結果が大きく振れる可能性があることから、その変動幅を把握しておく必要があるためである。しかし、今回は、モデルとして MIROC6 の気候モデルによるデータのみを用いた。この点について、今後、複数のモデルからのデータによる計算が必要となるものと考えられる。

また今回は、関東甲信の地域区分に限定して計算を行った。日本は国土の面積は限られているが、弓なりの列島をなしており、気候変動や、それが死亡率に与える影響は、地域ごとにさまざまであると考えられる。このため、今後は、各地域での計算を行うことが求められることとなろう。

以上の点を踏まえて、複数の気候モデルのデータをもとに、日本全国での死亡率シナリオの作成や死亡数予測の計算を行っていく。そして、その結果が得られた段階で、公表を目指していく。

引き続き、気候変動が人の生命や健康に及ぼす影響に関して、国内外の各種調査・研究の動向のウォッチを続けるとともに、上記の計算と結果の公表に努めていくこととしたい。

【参考文献・資料】

1. 「一般気象学〔第2版補訂版〕」小倉義光著(東京大学出版会, 2016年)
2. 「絵でわかる地球温暖化」渡部雅浩著(講談社, 2018年)
3. 「日本の気候」(気象庁HP)
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kisetsu_riyou/tenkou/Average_Climate_Japan.html
4. 「地球温暖化『日本への影響』—新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策—」(環境省環境研究総合推進費 戦略研究開発領域 S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書, S-8 温暖化影響・適応研究プロジェクトチーム)
5. “The Effect of Weather on Respiratory and Cardiovascular Deaths in 12 U.S. Cities” (Alfésio L. F. Braga, Antonella Zanobetti, and Joel Schwartz, 2002)
6. “Models for the Relationship Between Ambient Temperature and Daily Mortality” (Ben Armstrong, 2006)
7. 「全国都道府県市区町村別面積調」(国土地理院)
8. 「住民基本台帳人口」(総務省)
9. 「過去の気象データ・ダウンロード」(気象庁HP)
<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>
10. 「歴史的潮位資料+近年の潮位資料」(気象庁HP)
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/sea_lev_var/sea_lev_var_his.php
11. 「過去の気象データ検索」(気象庁HP)
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index>
12. 「人口動態統計」(厚生労働省)
13. 「死因分類表」(厚生労働省)
14. 「国勢調査」(総務省)
15. 「人口推計」(総務省)
16. 「SPSSによる回帰分析」内田治著(オーム社, 2013年)
17. 「環境省におけるCCUSに係る取組み—政策と事業の概要—」(環境省, 2023年10月27日)
18. 「経済産業省におけるCCUSの取組み」(経済産業省, 2023年10月27日)
19. 「気候予測データセット2022解説書」(文部科学省 気象庁, 令和4年12月(令和6年3月改訂))
20. “About History of the IPCC” (IPCC HP)
<https://www.ipcc.ch/about/history/>
21. 「IPCCの概要や報告書で使用される表現等について」(気象庁, 令和3年8月9日付報道発表資料 別添3)
22. “Technical Summary” (IPCC WG1)
23. “Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, 1 and climate sensitivity in MIROC6” (Geoscientific Model Development Discussions, Discussion started: 16 July 2018)

<https://doi.org/10.5194/gmd-2018-155>)

24. “Description of MIROC6 AGCM” (MIROC6 AGCM document writing team, April 13, 2021)
25. 「日本の将来人口推計(令和5年推計)」(国立社会保障・人口問題研究所)
26. 「日本の地域別将来推計人口(令和5年推計)」(国立社会保障・人口問題研究所)

(著者の過去の関連レポート)

「気候変動指数化の海外事例ー日本版の気候指数を試しに作成してみると…」篠原拓也(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2022年9月8日) … ①

<https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=72284?site=nli>

「気候変動指数の地点拡大ー日本版の気候指数を拡張してみると…」篠原拓也(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2022年12月28日) … ②

<https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=73405?site=nli>

「気候指数[全国版]の作成ー日本の気候の極端さは1971年以降の最高水準」篠原拓也(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2023年4月6日) … ③

https://www.nli-research.co.jp/files/topics/74427_ext_18_0.pdf?site=nli

「気候変動と死亡数の増減ー死亡率を気候指数で回帰分析してみると…」篠原拓也(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2023年8月31日) … ④

<https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=75966?site=nli>

「気候変動と死亡数の関係ー2022年データで回帰式を更新し、併せて改良を図ってみると…」篠原拓也(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2024年1月18日) … ⑤ = 「前回のレポート」

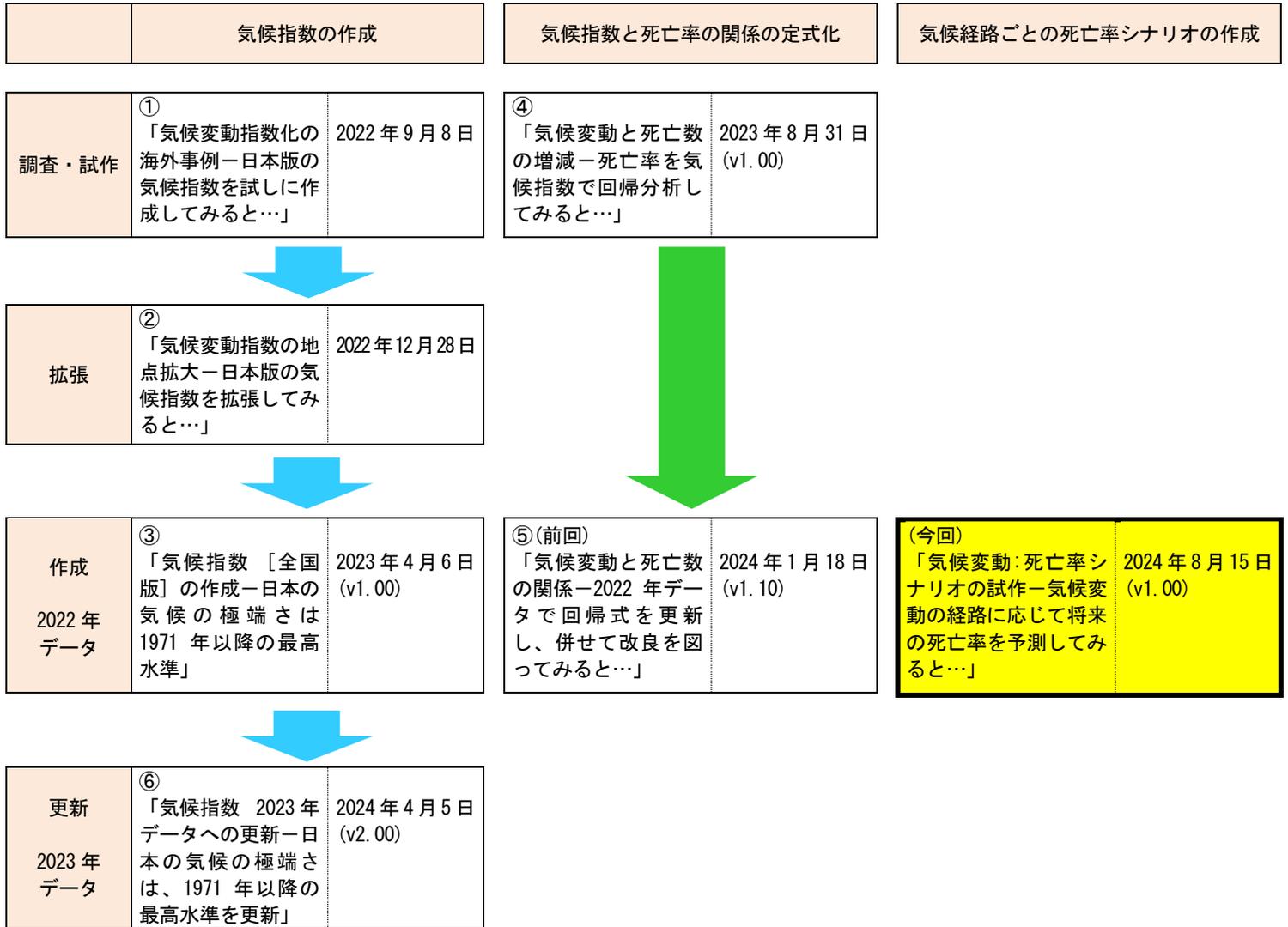
https://www.nli-research.co.jp/files/topics/77177_ext_18_0.pdf?site=nli

「気候指数 2023年データへの更新ー日本の気候の極端さは、1971年以降の最高水準を更新」篠原拓也(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2024年4月5日) … ⑥

https://www.nli-research.co.jp/files/topics/78151_ext_18_0.pdf?site=nli

[上記の各レポートの関係と、今回のレポートの位置づけ]

(括弧内の記号はバージョン)



(参考) 死因の分類について

本稿では、死因として、6つの分類を設定している。人口動態統計の死因簡単分類は、1978年以前、1979～94年、1995年以降で統計表の分類が変化している。そのため、以下のように、死因間の対応を設定して、死因分類を揃えることとした。

本稿での死因分類	1978年以前	1979～94年	1995年以降
新生物	<ul style="list-style-type: none"> 悪性新生物(リンパおよび造血組織の新生物を含む) 良性および性質不詳の新生物 	<ul style="list-style-type: none"> 悪性新生物 良性及び性質不詳の新生物 	<ul style="list-style-type: none"> 新生物 -悪性新生物 -その他の新生物
循環器系疾患	<ul style="list-style-type: none"> 活動性リウマチ熱 慢性リウマチ性心疾患 高血圧性疾患 虚血性心疾患 その他の心疾患 脳血管疾患 	<ul style="list-style-type: none"> 急性リウマチ熱 慢性リウマチ性心疾患 高血圧性疾患 虚血性心疾患 肺循環疾患及びその他の型の心疾患 脳血管疾患 循環系のその他の疾患 	<ul style="list-style-type: none"> 循環器系の疾患 -高血圧性疾患 -心疾患(高血圧性を除く) -脳血管疾患 -大動脈瘤及び解離 -その他の循環器系の疾患
呼吸器系疾患	<ul style="list-style-type: none"> インフルエンザ 肺炎 気管支炎、肺気腫および喘息 	<ul style="list-style-type: none"> 急性気管支炎 肺炎 インフルエンザ 気管支炎、肺気腫及び喘息 	<ul style="list-style-type: none"> 呼吸器系の疾患 -インフルエンザ -肺炎 -急性気管支炎 -慢性閉塞性肺疾患 -喘息 -その他の呼吸器系の疾患
異常無(老衰等)	<ul style="list-style-type: none"> 症状およびその他の診断名不明確の状態 	<ul style="list-style-type: none"> 精神病の記載のない老衰 	<ul style="list-style-type: none"> 症状、徴候及び異常臨床所見・異常検査所見で他に分類されないもの -老衰 -乳幼児突然死症候群 -その他の症状、徴候及び異常臨床所見・異常検査所見で他に分類されないもの
外因(熱中症含)	<ul style="list-style-type: none"> 自動車事故 その他の不慮の事故 自殺 その他の外因 	<ul style="list-style-type: none"> 不慮の事故及び有害作用 自殺 他殺 その他の外因 	<ul style="list-style-type: none"> 傷病及び死亡の外因 -不慮の事故 -自殺 -他殺 -その他の外因
その他	<ul style="list-style-type: none"> コレラ 腸チフス 細菌性赤痢およびアメーバ症 腸炎およびその他の下痢性疾患 呼吸器系の結核 その他の結核(後遺症を含む) ペスト ジフテリア 百日咳 レンサ球菌性咽頭炎および猩紅熱 髄膜炎菌感染 急性灰白髄炎 痘瘡 麻疹 チフスおよびその他のリケッチア症 マラリア 	<ul style="list-style-type: none"> コレラ 腸チフス 細菌性赤痢及びアメーバ症 腸炎及びその他の下痢性疾患 呼吸系の結核 その他の結核 らい ジフテリア 百日咳 猩紅熱 髄膜炎菌感染 破傷風(新生児破傷風を除く) 敗血症(新生児敗血症を除く) 急性灰白髄炎 痘瘡 麻疹 日本脳炎 ウイルス肝炎B 	<ul style="list-style-type: none"> 感染症及び寄生虫症 -腸管感染症 -結核 -敗血症 -ウイルス肝炎 -ヒト免疫不全ウイルス[HIV]病 -その他の感染症及び寄生虫症 血液及び造血器の疾患並びに免疫機構の障害 -貧血 -その他の血液及び造血器の疾患並びに免疫機構の障害 内分泌、栄養及び代謝疾患 -糖尿病 -その他の内分泌、栄養及び代謝疾患

<p>その他 (つづき)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・梅毒および続発症 ・その他の伝染病および寄生虫病 ・糖尿病 ・ビタミン欠乏症およびその他の栄養欠乏症 ・貧血 ・髄膜炎 ・消化性潰瘍 ・虫垂炎 ・腸閉塞およびヘルニア ・肝硬変 ・腎炎およびネフローゼ ・前立腺肥大症 ・流産 ・その他の妊娠、分娩、産褥の合併症および合併症の記載のない分娩 ・先天異常 ・出生時損傷、難産およびその他の無酸素症、低酸素症 ・その他の周産期の死因 ・その他のすべての疾患 	<ul style="list-style-type: none"> ・その他のウイルス肝炎 ・発疹チフス及びその他のリケッチア症 ・マラリア ・梅毒 ・カンジダ症（新生児カンジダ症を除く） ・日本住血吸虫症 ・フィラリア症 ・その他の感染症及び寄生虫症 ・糖尿病 ・栄養欠乏症 ・貧血 ・精神障害 ・髄膜炎 ・中枢神経系の非炎症性疾患 ・胃及び十二指腸潰瘍 ・虫垂炎 ・腹腔ヘルニア及び腸閉塞 ・胃炎、十二指腸炎及び慢性胃腸炎 ・慢性肝疾患及び肝硬変 ・肝疾患（肝硬変を除く） ・腎炎、ネフローゼ症候群及びネフローゼ ・前立腺肥大症 ・直接産科的死亡 ・間接産科的死亡 ・先天異常 ・出産時外傷、低酸素症、分娩仮死及びその他の呼吸器病態 ・その他の周産期の死因 ・その他のすべての疾患 	<ul style="list-style-type: none"> ・精神および行動の障害経系の疾患 -血管性及び詳細不明の痴呆 -その他の精神及び行動の障害 ・神経系の疾患 -髄膜炎 -脊椎性筋萎縮症及び関連症候群 -パーキンソン病 -アルツハイマー病 -その他の神経系の疾患 ・眼及び付属器の疾患 ・耳及び乳様突起の疾患 ・消化器系の疾患 -胃潰瘍及び十二指腸潰瘍 -ヘルニア及び腸閉塞 -肝疾患 -その他の消化器系の疾患 ・皮膚及び皮下組織の疾患 ・筋骨格系及び結合組織の疾患 ・尿路性器系の疾患 -糸球体疾患及び腎尿細管間質性疾患 -腎不全 -その他の尿路性器系の疾患 ・妊娠、分娩及び産じょく ・周産期に発生した病態 -妊娠期間及び胎児発育に関連する障害 -出産外傷 -周産期に特異的な呼吸障害及び心血管障害 -周産期に特異的な感染症 -胎児及び新生児の出血性障害及び血液障害 -その他の周産期に発生した病態 ・先天奇形、変形及び染色体異常 -神経系の先天奇形 -循環器系の先天奇形 -消化器系の先天奇形 -その他の先天奇形及び変形 -染色体異常、他に分類されないもの ・特殊目的用コード -重症急性呼吸器症候群[SARS] -その他の特殊目的用コード
----------------------	--	---	---

※ 人口動態統計「死因分類表」（厚生労働省）をもとに、筆者作成