

基礎研 レポート

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…

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の定量的な把握に努めた。そこで得られた関係式は、死亡数の実績を概ね再現するものであった。ただし、そこには再考すべき点がいくつか残されていた。

今回、2022年のデータを用いて関係式を更新するとともに、再考すべき諸点の検討を行った。その結果、(1) 7つの気候指数すべてを関係式に採用、(2) コロナ禍と大震災の影響を除いた直近データを使用(学習データとテストデータの使い分けを含む)、(3) 暑熱期とそれ以外の時期を分けて関係式を作成、等の見直しを行った。

これらの見直しを通じて、近年の死亡数実績の再現など、関係式の説明力向上が図られた。

今後、将来の気候変動経路に応じた死亡率のシナリオ策定に取り組む上で、この関係式を有効に活用することが期待される。

はじめに

近年、気候変動問題への注目度が徐々に高まっている。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、海面水位の上昇など、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では、日本全国版の気候指数を作成した。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、今後の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](#)²(以下、「前回のレポート」と呼称)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、死亡数実績を概ね再現するものであった。

ただし、前回のレポートで得られた関係式はあくまで試作に過ぎず、継続的な見直しが必要となる。そもそも気候変動と人の生命や健康の関係には、さまざまな作用機序が考えられる。例えば、前回のレポートでは、関係式は月によらず同一の式とした(月ごとの違いは、式中のダミー変数に反映した)が、暑熱期とそれ以外の時期とでは、高温が人の身体に与える影響は異なる可能性がある。また、前回のレポートでは、関係式に取り入れる気候指数を取捨選択して低温指数を不採用としたが、低温が循環器系疾患等による死亡に与える影響を加味する必要があるかもしれない。

このように、前回のレポートには、再考すべき点がいくつか残されていた。

そこで、今回は、2022年のデータを用いて関係式を更新するとともに、再考すべき諸点の検討を行い、それを気候指数と死亡率の関係式に反映させて、改良を図ることとした。

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。

¹ 「[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…](#)」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2023年8月31日)

[目次]

はじめに.....	2
1—気候指数と死亡率に関する振り返り.....	4
1 気候指数には慢性リスク要因の定量化が求められる.....	4
2 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数量で把握.....	4
3 前回のレポートで試作した関係式には再考すべき点がある.....	4
2—関係式の更新.....	5
1 7つの気候指数すべてを回帰計算に使用する.....	5
2 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.....	5
3 学習データを10年分、テストデータを5年分としたケースの説明力が高かった.....	6
4 暑熱期とそれ以外の時期の回帰式を分けることで説明力が高くなった.....	7
3—関係式のまとめ.....	8
1 関係式は、504本の回帰式とする.....	8
2 死亡率は、性別、年齢群団、死因、地域区分、月別に設定.....	8
3 気候指数は、全国を11の地域区分に分けて設定する.....	8
4 回帰式にはロジット変換や対数変換を組み入れる.....	8
5 ダミー変数は、地域区分と月について組み込む.....	9
6 高温と低温の指数については、2乗の項も用いる.....	9
7 死亡率の改善トレンドを、時間項として織り込む.....	9
8 回帰式は暑熱期とそれ以外の時期に応じて使い分ける.....	10
4—実績と回帰計算結果の比較.....	12
1 死亡数：回帰計算結果は、死亡数実績を概ね再現できている.....	12
2 死亡率：回帰計算結果は、死亡率実績も概ね再現できている.....	13
3 気候指数が死亡率に与える影響割合は2%程度とみられる.....	16
5—回帰式を用いた試算.....	16
1 高温指数が1高かった場合、5年間の死亡数は、実績に比べて4.4万人減少.....	17
2 高温指数が2高かった場合、死亡数の増加は+1.5万人に拡大.....	17
3 湿度指数が1高かった場合、死亡数は+3.7万人増加.....	17
4 高温と湿度の指数が1高かった場合、死亡数は+1.7万人増加.....	17
5 7つの気候指数がいずれも1高かった場合、死亡数は+11.8万人増加.....	17
6—おわりに（私見）.....	18
【参考文献・資料】.....	19

1—気候指数と死亡率に関する振り返り

まず、気候指数と死亡率について、前回のレポートの内容を少し振り返っておこう。

1 | 気候指数には慢性リスク要因の定量化が求められる

近年、社会経済のさまざまな場面で気候変動問題の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、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り組みや、それを金融面から支える、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。豪雨や大規模山林火災のように、短時間のうちに急激に環境が損なわれる「急性リスク」だけではなく、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、こうしたリスクの要因を定量的に示していくことが求められる。

このような慢性リスクを定量化すべく、日本全国を12の地域に分けて気候区分を設定し、気候区分ごとに、高温、低温、降水、乾燥、風、湿度、海面水位の7つの気候指数を作成している。

2 | 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数量で把握

気候指数の用途は幅広い。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の状況把握の際に、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把握することも考えられる。気候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かといった点の解明である。

そこで、前回のレポートでは、気候変動と人の死亡率の関係を、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。

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。さらに、気候指数の採否を検討し、高温、乾燥、風、湿度の4つの指数を説明変数として採用することとした。

このようにして得られた回帰計算結果は、死亡数実績を概ね再現していた。

3 | 前回のレポートで試作した関係式には再考すべき点がある

ただし、そもそも気候変動と人の生命や健康の関係には、さまざまな作用機序が考えられる。例えば、暑熱期とそれ以外の時期とでは、高温が人の身体に与える影響は異なるかもしれない。また、高温だけではなく、低温が循環器系疾患等に与える影響も考慮すべきかもしれない。

そこで、今回は、2022年のデータを用いて関係式を更新するとともに、こうした点について検討を行い、それを気候指数と死亡率の関係式に反映させることとした。第2章では関係式の再考、第3章では、それを含めた関係式のまとめについて見ていくこととする。

2—関係式の更新

まず、前回のレポートの内容を踏まえて再考すべき点を挙げ、その見直しの方針を述べていく。

1 | 7つの気候指数すべてを回帰計算に使用する

前回のレポートでは、まず最初に、7つの気候指数すべてを用いた回帰式を作成した。そして、最終的な回帰式に用いる気候指数の採否について検討していった。

その際、死亡率の説明に欠かせない気候指数として、“暑さ”の要因とされる高温と湿度の指数を採用することを前提とし、その他の指数については、有意確率等の統計的な指標をもとに検討を進めた。その結果、最終的に、高温、乾燥、風、湿度の4つの指数のみを説明変数として採用することとした。

しかし、このように回帰式に採用する気候指数を限定する方法では、例えば、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い。また、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いこととなる。

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にあつて、既に解明された関係だけに着目し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。

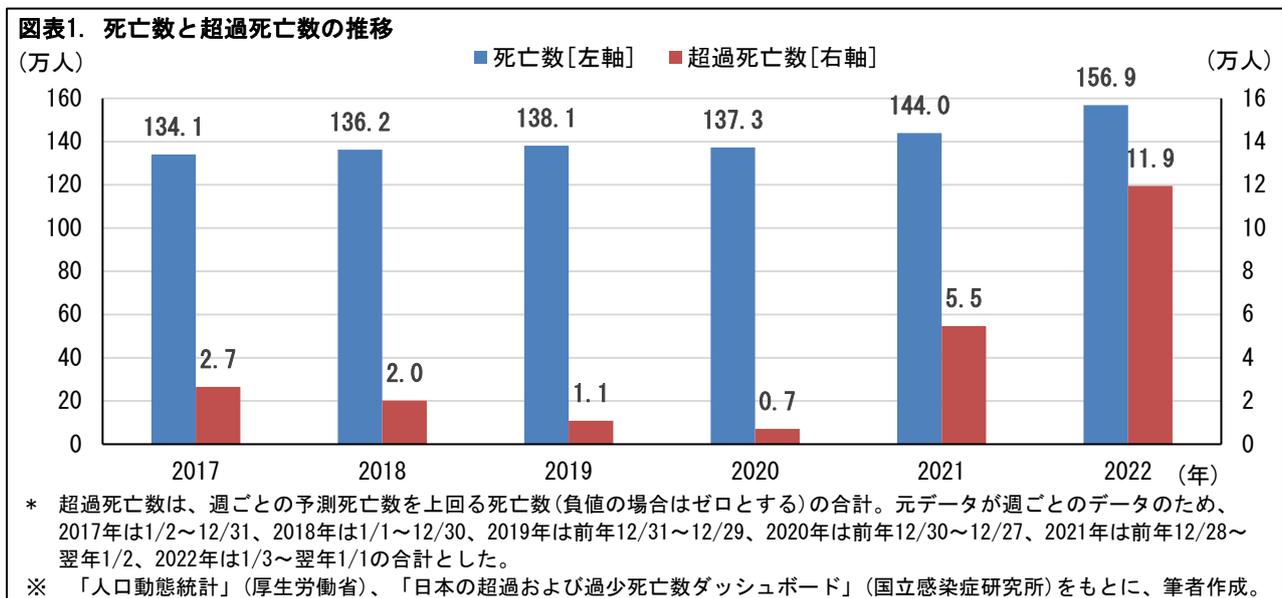
そこで、今回の見直しでは、関係の解明、未解明によらず、7つの気候指数すべてを回帰計算に使用することとする。

2 | 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

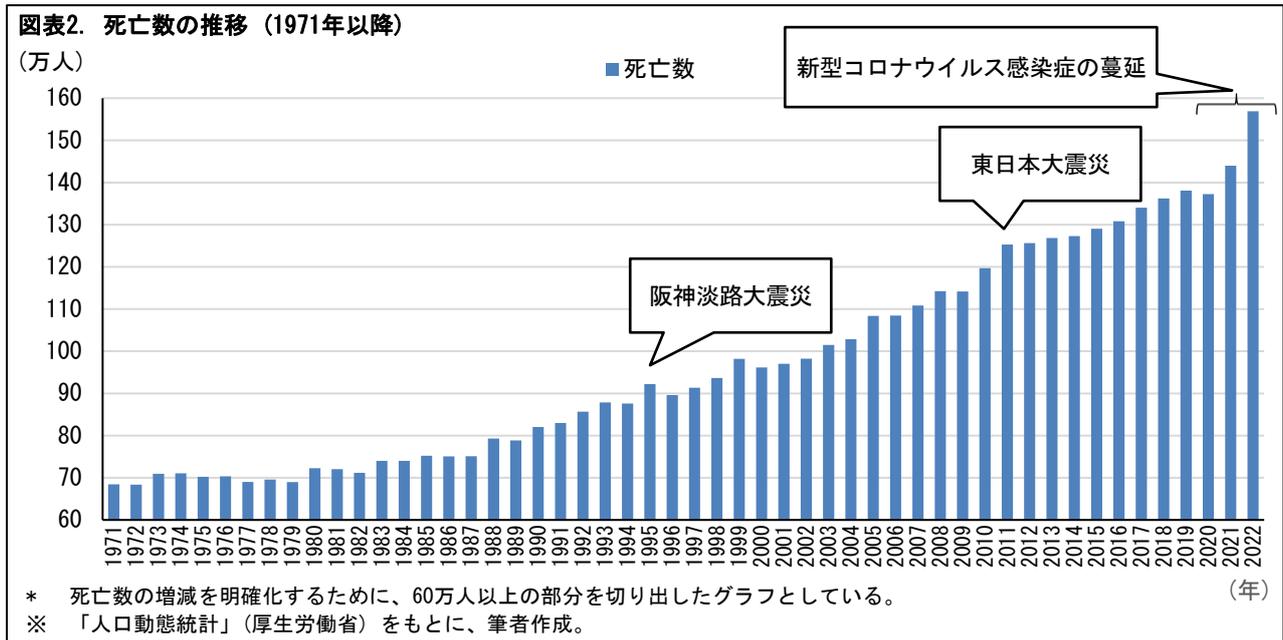
死亡数のデータは「人口動態統計」（厚生労働省）、人口のデータは「国勢調査」と「人口推計」（いずれも総務省）を用いている。

死亡数と人口は、毎年、データが公表されている。直近では、死亡数(確定値)の2022年の実績が2023年9月に公表された。それを用いて、回帰式の更新を図ることとする。

ただし、2022年の死亡数は約156.9万人(対前年+12.9万人)の大幅増加となったことが注意点として挙げられる。この増加は、新型コロナウイルス感染症の蔓延による超過死亡の影響と考えられる。つまり、2022年の死亡数は、気候変動以外の影響を、多分に含んでいるものと見ることができる。



この 50 年あまりの推移を見ると、死亡数は基本的には増加傾向にある。ただし、毎年の変化は必ずしもなだらかではない。阪神淡路大震災(1995 年)、東日本大震災(2011 年)、新型コロナウイルス感染症の蔓延(2020~22 年)に見舞われた年は、気候変動以外の影響が強く表れたものと見られる。



今回、死亡率と気候指数の関係式を更新するにあたり、「回帰計算には、どの年のデータを用いるべきか」を再考する必要が生じた。

一般に、前回のレポートのように、データが取得できるすべての年を対象に回帰計算に行くと、得られる回帰結果の安定性は高まる。しかし、その一方で、大震災やコロナ禍のような、気候変動とは関係がないとみられる情報を含んでしまう。これは、回帰式を用いて将来の死亡率を見積もる際には、予測精度の低下をもたらす恐れがある。そのため、今回は、大震災やコロナ禍の影響が明らかな 1995、2011、2020~22 年の 5 年分のデータは、回帰計算には使用しないこととした。

3 | 学習データを 10 年分、テストデータを 5 年分としたケースの説明力が高かった

また、前回のレポートでは回帰計算に用いる学習データとテストデータを同一としていたために、得られた回帰結果が“過剰適合”となっていた可能性がある。これは、回帰モデルが、既知のデータに対しては学習されているが、未知のデータに対しては適合しない恐れがある、つまり将来の予測には使用できない可能性があるということの意味する。

そこで、今回は、学習データとテストデータを使い分けて、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うこととした。

具体的には、学習データとして 10 年、20 年、30 年分をとり、テストデータをその半分の 5 年、10 年、15 年分として、3 つの(ケース a)、(ケース b)、(ケース c)について回帰計算を実施した。そして、それぞれのケースごとに、テストデータを通じた死亡数の実績と回帰結果の比較を行った。

その結果、男女計で見ると、学習データを 20 年分とする(ケース b)で、実績との差が小さかった。しかし、男女別に見ると、学習データを 10 年分とする(ケース a)のほうが(ケース b)よりも、実績との差が小さく、説明力が高いことが判明した。

この結果から、最終モデルでは、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。これにより、全期間モデルを使用する場合に比べて、実績との差は減少した。

図表 3. 学習データとテストデータを分けた場合の回帰計算の結果 [死亡数実績との差] (人)

		(前回) 全期間モデル	(ケース a) 学習データ 10 年	(ケース b) 学習データ 20 年	(ケース c) 学習データ 30 年	(今回) 10 年分モデル
学習データ		1971-2022 年 (全期間)	2004-10、12-14 年 (10 年分)	1988-94、96-2008 年 (20 年分)	1973-94、96-2003 年 (30 年分)	2009-10、12-19 年 (10 年分)
テストデータ		—	2015-19 年 (5 年分)	2009-10、12-19 年 (10 年分)	2004-10、12-19 年 (15 年分)	—
実績 との差 (年間)	男女計	25,310	53,355	28,645	101,193	20,495
	男性	20,586	23,160	107,838	126,514	10,824
	女性	23,341	30,195	83,667	27,481	10,962

* 「実績との差」は、死亡数実績との差の絶対値の 1 年間の平均(全期間モデルと 10 年分モデルは、2003-22 年(20 年分)の平均)。
死亡数は、死亡地域が外国や不詳の場合を除く。(以下の図表においても同様。)

※ 筆者作成

4 | 暑熱期とそれ以外の時期の回帰式を分けることで説明力が高くなった

前回のレポートでは、月ごとの違いを、月のダミー変数の違いとして表現し、回帰式そのものは同一としていた。しかし、例えば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。低温や湿度の指数なども同様である。

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を検討した。

図表 4. 暑熱期とそれ以外の時期を分けた場合の回帰計算の結果 [死亡数実績との差] (人)

		暑熱期とそれ以外の時期を分けなかった場合			暑熱期とそれ以外の時期を分けた場合		
		1 年間の平均	暑熱期	それ以外の時期	1 年間の平均	暑熱期	それ以外の時期
実績 との差	男女計	20,495	9,147	13,444	19,593	9,689	12,830
	男性	10,824	5,169	6,459	10,541	5,447	6,111
	女性	10,962	4,374	7,547	10,636	4,549	8,263

* 「実績との差」は、死亡数実績との差の絶対値の 1 年間の平均(2003-22 年(20 年分)の平均)。
死亡数実績の 1 年間の平均は、男女計 1,244,300 人、男性 650,419 人、女性 593,881 人。

※ 筆者作成

暑熱期とそれ以外の時期を分けなかった場合と、分けた場合について、回帰計算を行い、それぞれ死亡数の実績と回帰結果の比較を行った。

その結果、暑熱期とそれ以外の時期を分けた場合は、分けなかった場合に比べて、年間の実績との差が男女計、男性、女性とも減少した。(ただし、暑熱期およびそれ以外の時期同士の比較では、大小関係は区々となった。) この結果を受けて、最終モデルでは、暑熱期とそれ以外の時期を分けて回帰計算を行う(回帰式を分ける)こととした。

3—関係式のまとめ

ここで、前章の再考の内容を含めて、死亡率と気候指数の関係式についてまとめておく。

1 | 関係式は、504 本の回帰式とする

関係式は、死亡数と人口のデータをもとに死亡率(目的変数)を求めて左辺に置き、これを右辺の気候指数(説明変数)を用いて回帰計算する手法で、回帰式として導出する。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。

2 | 死亡率は、性別、年齢群団、死因、地域区分、月別に設定

死亡率の分子の死亡数のデータには、「人口動態統計」(厚生労働省)を用いる。一方、分母の人口のデータには、「国勢調査」「人口推計」(いずれも総務省)を用いる。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、別紙図表を参照いただきたい。

回帰式の設定に用いる死亡率は、2009-10、12-19 年の 10 年分のデータとする。

3 | 気候指数は、全国を 11 の地域区分に分けて設定する

気候指数は、気象庁の気候区分をもとに作成する。ただし奄美については、九州南部と合わせた「九州南部・奄美」の地域区分とする。その結果、日本全国を 11 の地域区分に分けて設定する。

図表 5. 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.jma.go.jp/jma/kishou/known/kisetsu_riyou/tenkou/Average_Climate_Japan.html) より

気候指数は、5 年移動平均ではなく、月ごとの指数をそのまま用いる。回帰式設定に用いる気候指数は、2009-10、12-19 年の 10 年分のデータとする。

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。

4 | 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。³ 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。

5 | 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。

6 | 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⁴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⁵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)」

7 | 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、こうした気候の要因とは別に死亡率に、改善のトレンドを与え

³ 1971 年 1 月~2021 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という保証はない。

⁴ 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。

⁵ 「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)

る要素を反映して、説明力を高めることが可能となる。

8 | 回帰式は暑熱期とそれ以外の時期に応じて使い分ける

回帰式は、暑熱期とそれ以外の時期に応じて、次の通り、2つの式を使い分けることとなる。

(回帰式)

【暑熱期 (5月～9月)】

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

【それ以外の時期 (10月～4月)】

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

* $\ln(\circ)$ 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)

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

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

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

ここで、回帰式中の各記号について、まとめておく。⁶

⁶ 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 を使用する。

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
—	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

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。

また、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。)

その結果、具体例を挙げると、回帰式の 4 行目は以下のようなになる。

(例) 近畿の 6 月	→	暑熱期の回帰式において、	$I + da6 + dm6$
四国の 9 月	→	〃	$I + da8$
沖縄の 9 月	→	〃	I
北海道の 3 月	→	それ以外の時期の回帰式において、	$I + da1 + dm3$
関東甲信の 12 月	→	〃	$I + da3$
沖縄の 12 月	→	〃	I

つまり、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。

第 1 節に述べたとおり、回帰式は、全部で 504 本(=2×21×6×2)作成することとなる。

回帰式には、2009-10、12-19 年(10 年分)の 1 月~12 月の実績データを入力する。地域区分は 11 区分ある。このため、暑熱期の回帰式には 10×11×5 の 550 個のデータ、それ以外の時期の回帰式には、

10×11×7の770個のデータがあることとなる。⁷

まとめると、これらのデータをもとに、504本の回帰式の係数を導出していく。それを通じ死亡率と気候指数の関係性を明らかにしていく。これが、本稿での回帰分析の内容となる。

4—実績と回帰計算結果の比較

本章では、回帰計算によって得られた結果を確認していく。

1 | 死亡数：回帰計算結果は、死亡数実績を概ね再現できている

まず、全体の死亡数の推移をもとに、過去の実績の再現がどの程度できているか、を見ていく。

回帰計算によって得られた死亡率をもとに、死亡数を計算する。その上で、男性・女性・男女計の各地域区分ごとおよび日本全国について、死亡数の過去の実績と回帰計算の結果を比較してみると、22～27ページの「死亡数 実績・回帰比較」のとおりとなった。

各地域とも、長期的には、死亡数の実績と回帰計算の結果は、緩やかな右肩上がり示している。2010年代以降の各年について、概ね、両者は近接している。ただし、2022年の日本全体(男女計)は、実績156.8万人に対して回帰計算結果149.5万人(対実績-4.7%)と乖離が発生している。これは、コロナ禍による死亡数の増加が、回帰モデルでは再現できなかったためと考えられる。コロナ禍や大震災の影響を除けば、回帰計算結果は、死亡数実績を概ね再現できていると言える。

なお、前回のレポートで見られた、「近年、男性は回帰が実績をやや上回り、反対に、女性は回帰が実績をやや下回っている」との傾向は、今回は生じていない。これは、回帰式の入力データを全期間ではなく、2009-10、12-19年の10年分に限定したことにより、男性に多い新生物の改善や、女性で増えている異常無(老衰等)といった近年の傾向が、回帰式に反映されているためと見られる。

前回のレポートと今回のレポートの比較を行った結果は、下表の通りとなった。今回は、2009-10、12-19年の10年分の死亡数実績との差が、前回に比べて、大幅に縮小していることがうかがえる。

図表6. 前回のレポートと今回のレポートの比較 [死亡数実績との差] (2009-10, 12-19年 (10年分)) (人)

		前回のレポート	今回のレポート	実績との差(絶対値)の縮小幅
実績との差(年間)	男女計	+15,407	+744	-14,664
	男性	+26,522	+213	-26,309
	女性	-11,114	+531	-10,583

* 「実績との差」は、(回帰式で算定した死亡数-死亡数実績)の1年間の平均(2009-10, 12-19年 (10年分)の平均)。

死亡数実績の1年間の平均は、男女計1,280,592人、男性664,501人、女性616,091人。

※ 筆者作成

⁷ ただし、一部の月では、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ることとする。

2 | 死亡率：回帰計算結果は、死亡率実績も概ね再現できている

つぎに死亡率の推移を見てみる。男性・女性 80-84 歳について、死因別に全国の実績と回帰結果の比較をすると、次ページおよび次々ページのとおりとなった。(0~4 歳、40~44 歳、80~84 歳の年齢群団の死因別、地域区分の比較は、28~99 ページの「死亡率 実績・回帰比較」に掲載。)

(1) 年代別

今回の計算の大きな変更点として、回帰式の学習データを 2009-10, 12-19 年の 10 年間として、大震災やコロナ禍の影響を除外した、最近の気候変動と死亡率の関係をもとに回帰計算を行っていることが挙げられる。これにより、最近の死亡率の再現性を高めて、将来の推測に役立てる目的がある。

実績と回帰の死亡率を比較すると、死因によっては、2000 年代まで大きく乖離している場合もある。しかし、2010 年代以降の近年では、両者は近接して推移している。近年については、回帰計算の再現性が確保できているものとみられる。以下では、2010 年代以降の比較について見ていく。

(2) 男女別

男女別に見たときに、実績死亡率の再現に大きな差異は見い出せない。前回のレポートでは、男性や、関東甲信、東海、近畿の女性では、新生物の実績死亡率の低下が再現できていなかったが、今回はこの点の改善がみられる。また、男性や、北海道、関東甲信の女性では呼吸器系疾患の実績死亡率の低下が再現できていなかったが、今回はこの点も改良されている。

(3) 年齢群団別

若齢(0~4 歳)、中齢(40~44 歳)、高齢(80~84 歳)のいずれも、概ね実績死亡率が再現できている。

なお、0~4 歳、40~44 歳の異常無(老衰等)の実績に示されているように、同死因は、1979~94 年において中齢以下の実績データがゼロで、回帰計算結果との乖離している。今回、回帰式の入力データを全期間ではなく、2009-10, 12-19 年の 10 年分に限定したことにより、その影響を受けずに回帰計算が行われる形となっている。

(4) 死因別

死因別には、どの死因も再現が比較的良好にできている。

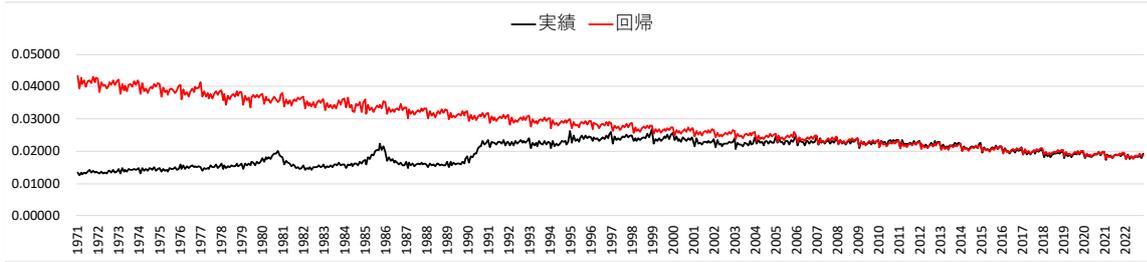
前回のレポートでは、新生物で、男性や関東甲信、東海の女性に見られる実績死亡率の低下が再現できていなかった。今回はこの低下が表現できている。循環器系疾患については、男女、各地域とも、よく再現できている。呼吸器系疾患で、前回は、男性や、北海道、関東甲信の女性に見られる呼吸器系疾患の実績死亡率の低下が再現できていなかった。今回は、この低下も表現できている。

一方、前回は異常無(老衰等)については、上昇傾向が表現できていなかったが、今回は、これも再現できている。なお、外因(熱中症含)の実績については、基本的には再現できているが、2011 年の東日本大震災の跳ね上がりについては表現できていない。⁸さらに、その他の死因については、基本的には再現できているが、2020 年以降のコロナ禍による死亡率の変動については表現できていない。

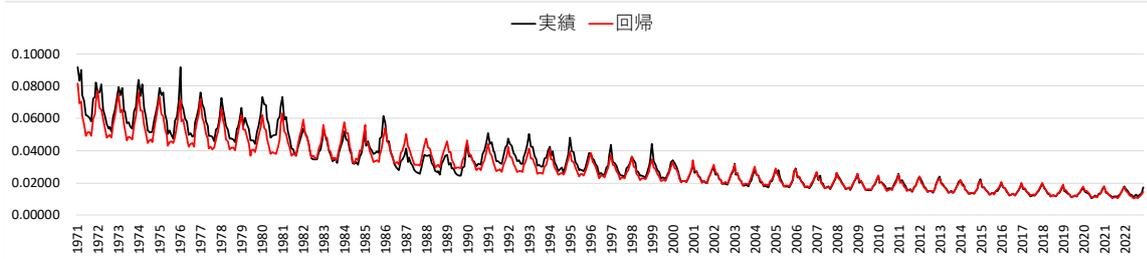
⁸ 大震災発生時の実績死亡率は、各地域区分で跳ね上がりが生じている。これは、月別の死亡数の計算の際に、人口動態統計下巻第 3 表から得られる日本全国の数値をもとに、当該月の割合を掛け算していることに起因している。大震災のあった年には、死亡数が多かった震災から数ヶ月間に死亡が偏るような形で、按分処理をしているためである。年間を通じてみれば、死亡数や死亡率は実績とほぼ一致している。

死亡率 実績・回帰比較 (男性 80-84歳、全国)

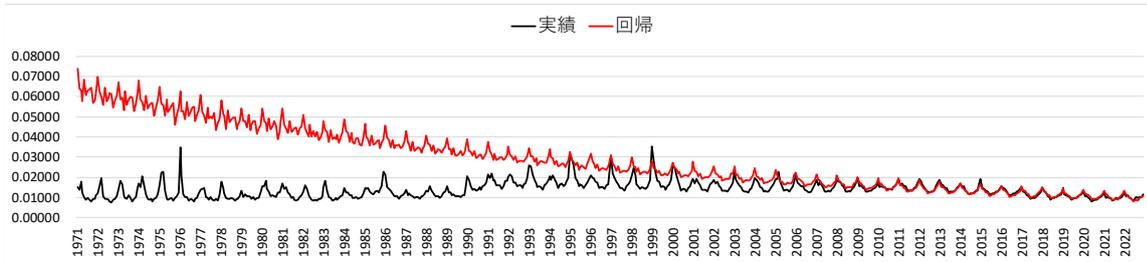
新生物



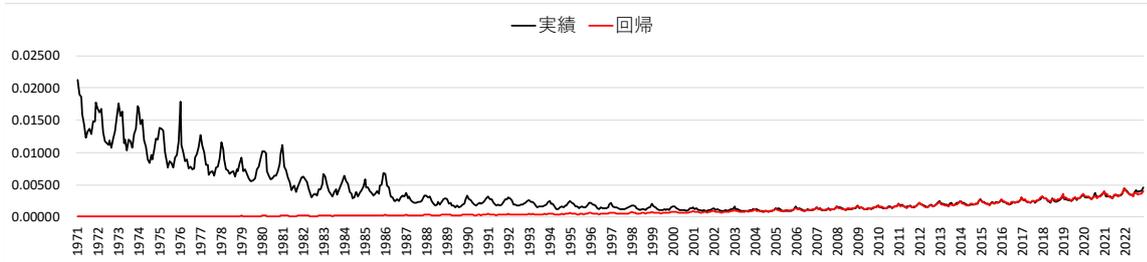
循環器系疾患



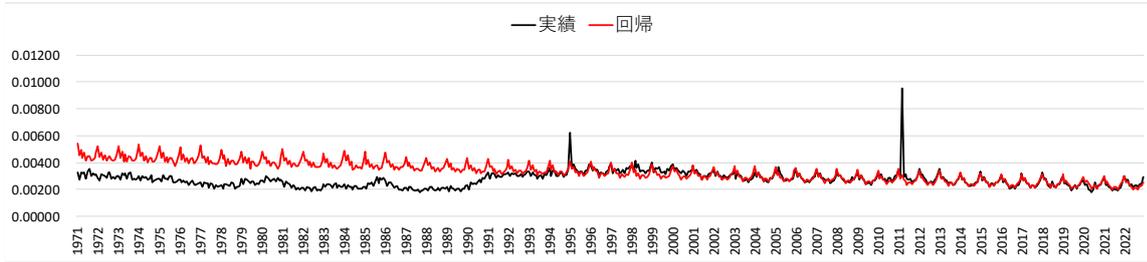
呼吸器系疾患



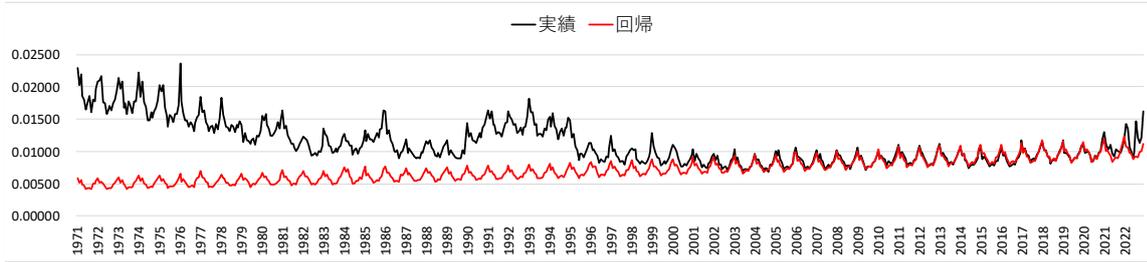
異常無(老衰等)



外因(熱中症含)

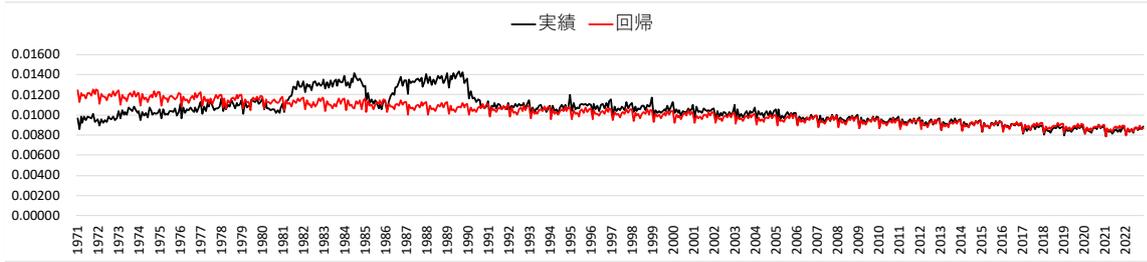


その他

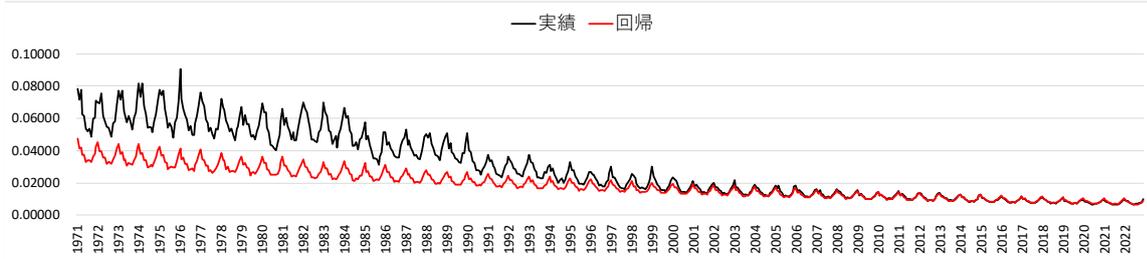


死亡率 実績・回帰比較 (女性 80-84歳、全国)

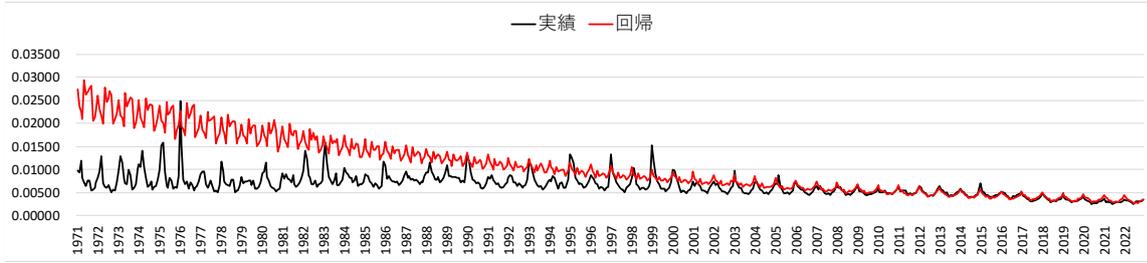
新生物



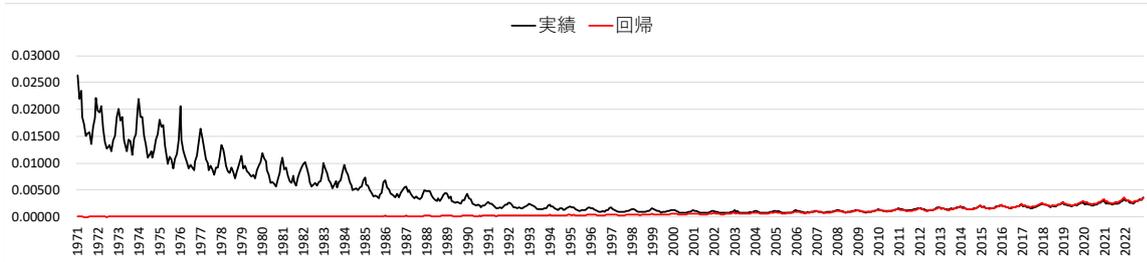
循環器系疾患



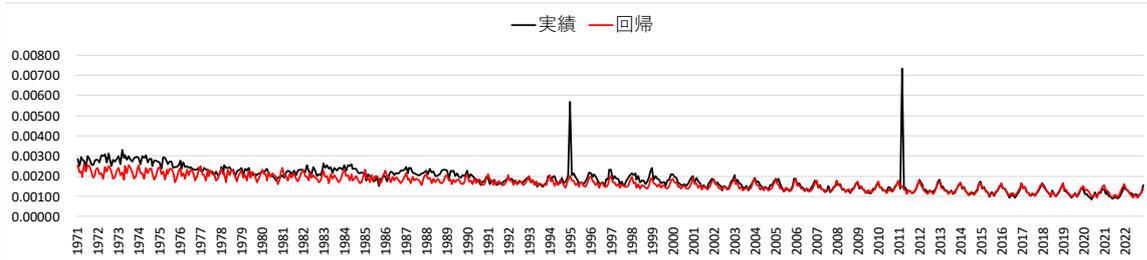
呼吸器系疾患



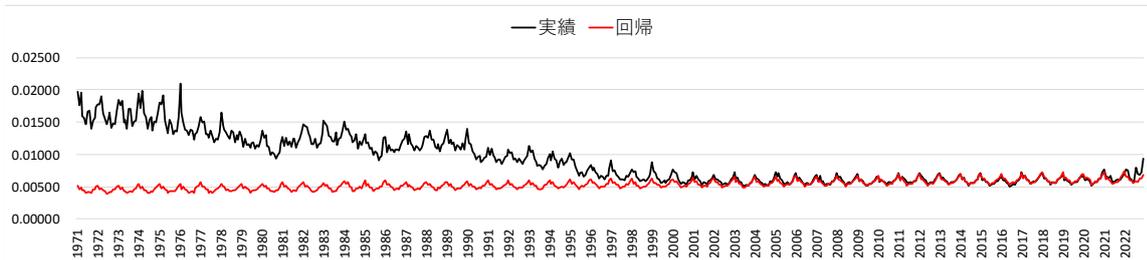
異常無(老衰等)



外因(熱中症含)



その他



(5) 地域区分別

地域区分別には、北海道から沖縄まで、概ね再現ができています。

総じて、回帰計算結果は、死亡率実績も概ね再現できていると言える。

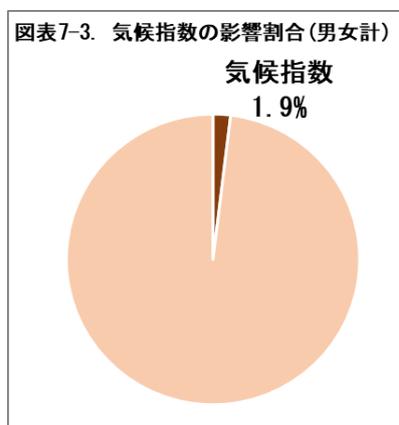
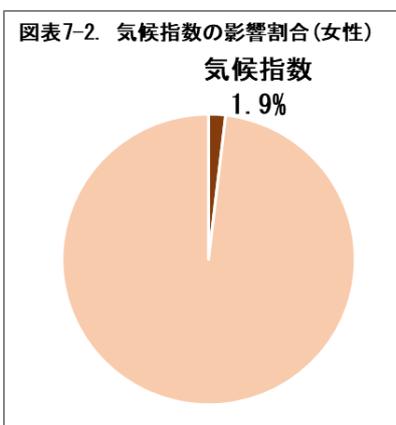
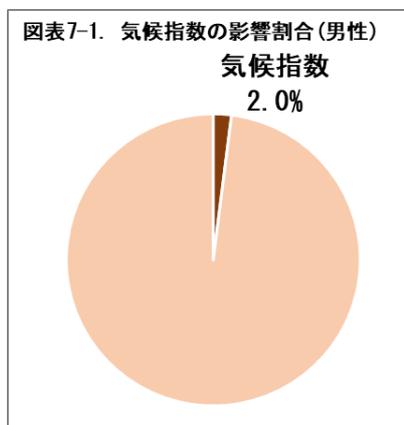
3 | 気候指数が死亡率に与える影響割合は2%程度とみられる

つづいて、得られた回帰式における気候指数の影響を確認しておく。一般に、回帰式の各説明変数の係数が大きければ、それだけその変数が変化した場合の目的変数の変化も大きいこととなる。ただし、回帰式の各説明変数の単位が異なるため、係数をそのまま比較しても意味をなさない。

そこで、各回帰式ごとに、係数を標準化⁹して比較可能とする。(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。¹⁰

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。(各影響割合は、102～129ページの「回帰計算結果」に記載。)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た。

その結果、男性は2.0%、女性は1.9%となり、男性のほうが女性よりも気候指数の影響割合がやや大きかった。男女計で見ると、気候指数の影響割合は1.9%となった。気候指数の影響割合は、2%程度とみられる。



※ 筆者作成

5——回帰式を用いた試算

前章までに得られた回帰式を使って、今後の気候変動に応じた死亡率の推移を推定することが可能となる。ただし、本稿では、本格的に今後の気候変動シナリオを設定して、各シナリオに応じた死亡率の推定を行うことまでは行わない。そうした推定は、今後、改めて検討することとしたい。

そのかわり本章では、いくつかの簡単な前提のもとで、「もし気候指数が〇〇だった場合、2018～22年(5年間)の死亡数は、実績に比べて◇◇になっていたであろう」といった試算をしていく。

⁹ 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。

¹⁰ 今回は、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。

1 | 高温指数が1高かった場合、5年間の死亡数は、実績に比べて-4.4万人減少

試算において、最も注目すべきは、地球温暖化と死亡率の関係であろう。つまり、高温指数と死亡率の関係だ。

それでは、もし2018~22年の高温指数が実績よりも1高かった、とした場合はどうなるか。¹¹ 回帰式を用いて計算したところ、このような場合の死亡数は、実績よりも-4.4万人減少すると算出された。

これは私見ではあるが、気温上昇により暑熱期の死亡数が増加する一方、それ以外の時期(特に冬場)には寒さが和らぐことで死亡数が減少する。高温指数が1高かった場合は、暑熱期の死亡数増加よりも、それ以外の時期の死亡数減少の影響が強くあらわれて、死亡数が減少するものとみられる。

2 | 高温指数が2高かった場合、死亡数の増加は+1.5万人に拡大

それでは、高温指数が2高かった、とした場合はどうなるか。回帰式を用いて計算したところ、死亡数は、+1.5万人の増加となった。これは、高温指数については、線形回帰をやめて、2乗の項も導入していることが影響を及ぼしたものと見られる。つまり、至適気温を上回るような高温の日が増えると死亡数の増加幅が大きくなる、との結果の表れと見ることができる。

3 | 湿度指数が1高かった場合、死亡数は+3.7万人増加

一方、湿度指数が1高かった、とした場合はどうなるか。回帰式を用いて計算したところ、死亡数は、+3.7万人の増加となった。日本の場合は、湿度の変化が死亡数に大きな影響を与える可能性があることがうかがえる。

4 | 高温と湿度の指数が1高かった場合、死亡数は+1.7万人増加

それでは、高温指数と湿度指数が1高かった、とした場合はどうなるか。回帰式を用いて計算したところ、死亡数は、+1.7万人の増加となった。これは、高温指数が2高かった場合を上回っている。暑さを示す高温と湿度の指数がともに高くなると、死亡数が大きく増加するものとみられる。

5 | 7つの気候指数がいずれも1高かった場合、死亡数は+11.8万人増加

それでは、7つの気候指数がいずれも1高かった、とした場合はどうなるだろうか。回帰式を用いて計算したところ、死亡数は、+11.8万人の増加となった。これは、気候変動が死亡数に大きな影響を与える可能性があることを示唆する結果と言える。

以上の結果をまとめると、次の通りとなる。

¹¹ 高温指数が高い(=その月の高温日が参照期間に比して多い)ことと、低温指数が低い(=その月の低温日が参照期間に比して少ない)ことの間には、一定の相関があるものと考えられるが、相関の程度については何とも言えない。気候変動により、同じ月のなかで日ごとの寒暖の差が激しくなり、高温日も低温日も多くなる、という可能性も捨てきれないものとみられるためである。そこで、今回は相関を考慮せずに、高温指数のみが高かった場合の影響を試算することとした。

図表 8. 気候指数が変動した場合の 2018～22 年（5 年間）の死亡数の変化

前提	死亡数	増減数		増減率
		5 年間	1 年間の平均	
死亡数実績（2018～22 年）	712.0 万人	—	—	—
高温指数が 1 高かった場合	707.7 万人	−4.4 万人	−0.9 万人	−0.6%
高温指数が 2 高かった場合	713.5 万人	+1.5 万人	+0.3 万人	+0.2%
湿度指数が 1 高かった場合	715.7 万人	+3.7 万人	+0.7 万人	+0.5%
高温と湿度の指数が 1 高かった場合	713.8 万人	+1.7 万人	+0.3 万人	+0.2%
7 つの気候指数がいずれも 1 高かった場合	723.9 万人	+11.8 万人	+2.4 万人	+1.7%

* 死亡数は、死亡地域が外国や不詳の場合を除く。
 端数処理の関係で、増減数が死亡数の差に一致していない箇所がある。
 ※ 筆者作成

6—おわりに（私見）

本稿では、気候変動と死亡率の関係を、統計的な回帰計算の手法を用いて定量化していった。回帰式に用いる気候指数の再考、回帰計算に用いる学習データの見直し、暑熱期とそれ以外の時期の回帰式の使い分けなど、いくつかの点で、前回のレポートからの改良を図った。

これにより、得られた回帰式の死亡数実績の再現性は、2010 年代以降の近年の部分では向上した。

ただし、得られた回帰式が示す関係性は、あくまで相関関係をとらえたものであり、因果関係を示しているわけではない。今後、その関係性の裏付けのために、疫学等のエビデンスを蓄積していく必要があるものと考えられる。そして、両者の関係を定量化するためには、質、量の両面で検討を深めていくことが求められる。

気候変動と死亡率の関係性の定量化が適切にできるようになれば、その次のステップとして、今後の気候変動シナリオに応じた死亡率の推移の推定が計算可能となる。すなわち、将来の気候変動の進展に応じて、どのように死亡率が変化し、生命保険の死亡保険金等の支払いにどう影響を及ぼすのか、といった試算が可能となる。もちろん、そこに至るまでの道程は平坦ではないと予想されるが、取り組むべき価値の高い課題と言えるだろう。

引き続き、回帰式の見直しを図るとともに、国内外の各種調査・研究動向のウォッチを続けていき、今後の気候変動シナリオに応じた死亡率の推移の推定という大きな課題に取り組んでいくこととした。

【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. 「日本の超過および過少死亡数ダッシュボード」(国立感染症研究所)
4. 「日本の気候」(気象庁HP)
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kisetsu_riyou/tenkou/Average_Climate_Japan.html
5. 「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)
6. “The Effect of Weather on Respiratory and Cardiovascular Deaths in 12 U.S. Cities” (Alfésio L. F. Braga, Antonella Zanobetti, and Joel Schwartz, 2002)
7. “Models for the Relationship Between Ambient Temperature and Daily Mortality” (Ben Armstrong, 2006)
8. 「全国都道府県市区町村別面積調」(国土地理院)
9. 「住民基本台帳人口」(総務省)
10. 「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>
11. 「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
12. 「過去の気象データ検索」(気象庁HP)
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index>
13. 「人口動態統計」(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. “Actuaries Climate Risk Index—Preliminary Findings” (American Academy of Actuaries, Jan. 2020)

(著者の過去の関連レポート)

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

<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…」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2022年12月28日)

<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」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2023年4月6日)

<https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=74427?site=nli>

[前回のレポート]

「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…」 篠原拓也著(基礎研レポート, ニッセイ基礎研究所, 2023年8月31日)

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