

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）  
栄養政策等の社会保障費抑制効果の評価に向けた医療経済学的な基礎研究  
分担研究報告書

栄養政策の公衆衛生学的効果の評価  
死亡率の長期推移に関するシステム・ダイナミクスモデル

研究分担者 杉山 雄大 国立国際医療研究センター研究所糖尿病情報センター  
研究代表者 西 信雄 医薬基盤・健康・栄養研究所国際栄養情報センター  
研究分担者 池田 奈由 医薬基盤・健康・栄養研究所国際栄養情報センター  
研究協力者 美野輪 和子 医薬基盤・健康・栄養研究所国際栄養情報センター

研究要旨

背景と目的：1950 年代以降、日本では平均食塩摂取量の減少に伴い、心血管死亡率が減少した。本研究の目的は、人口の食塩摂取量の減少が心血管死亡率の長期推移に及ぼす影響を定量的に検討することである。

方法：政府統計と疫学調査結果を用いて、1950～2017 年の 20～69 歳の年齢別心血管死と食塩摂取量のシステム・ダイナミクスモデルを構築した。Age-period-cohort モデルに基づき、当時の食塩摂取量の期間効果と過去の食塩摂取量のコホート効果を推定し、これらの効果を心血管死亡率にモデル化した。食塩摂取量の経年減少をもとにモデルを最適化した。次に、1950 年代以降食塩摂取量が減少していないという反実仮想シナリオに基づくシミュレーションを行い、平均食塩摂取量の減少に伴う心血管死亡の減少を推定した。

結果：反実仮想シナリオと比較して、1950 年および 1990 年のコホートにおいて観察された心血管死亡率は、男性でそれぞれ 2.8% と 4.1%、女性でそれぞれ 2.4% と 3.6% 低下した。全期間を通じて減塩により男性で約 208,000 人、女性で約 115,000 人の死亡が予防されたと推定された。

結論：システム・ダイナミクスの年齢・期間・コホートモデルによるシミュレーションの結果、過去 67 年間に食塩摂取量の減少により、日本では約 30 万人の成人の心血管死亡を防ぐことができたことが示唆された。

A. 目的

本研究では、国内外における栄養政策等の公衆衛生学的効果及び社会保障費抑制効果並びに評価方法を検討している。本分担研究では、本邦における栄養政策の 1 類型を選択し、その効果を評価することにより、評価方法の検討・開発を行うこととした。

本邦における戦後最も改善した政策課題の一つは、食塩摂取量の減少である<sup>1)</sup>。食塩摂取が減少することにより高血圧患者の減少や集団全体の血圧の低下につながり、脳卒中をはじめとする心血管病変の減少につながったことが、様々なコホート研究等の結果などから推定されている。

一方で、食塩摂取量の減少が高血圧患者や心血管病変の患者数にどれだけの影響を及ぼし、医療経済的にどれだけの効果をもたらしたのかということについては明らかにされていない。

そこで、今回我々は、本邦における食塩摂取減少が及ぼしたインパクトを定量的に評

価するために、「もし食塩摂取量が減少していないなかったとしたら」などの反事実的 (counterfactual) な状況を設定し<sup>2)</sup>、実際の統計との比較を行うことにより、食塩摂取量の減少が高血圧と心血管疾患の患者数にどれだけ影響を及ぼしているのか検討することとした。

最終年度は、第 2 年度にモデルの枠組みを変換した age-period-cohort モデルに、食塩摂取量を入れたモデルを作成し、食塩量が減らなかつたときの死亡率の推移を推定し、死亡数を反映し、減塩の栄養政策の効果を推定する方針とした。そのため、過去の性年齢階級別食塩摂取量を推定してモデルに含め、食塩過剰摂取が心血管死亡率に与える影響を Cohort 効果と Period 効果にわけ、各々の係数はキャリブレーションにより最適値を求めて、1950 年から食塩摂取量が減少しなかつた場合の男女別 (20—70 歳未満) の死亡率を推定した。

## B. 研究方法

### 1. モデルの概要

第3年度(最終年度)である本年度は、第2年度にモデルの枠組みを変換した age-period-effect モデルに、食塩摂取量を入れたシステム・ダイナミクスモデルを作成した。

Age-period-effect モデルを用いた先行研究としては、三輪らが本邦における 1920-2003 年の脳血管死亡率の変動を計算しその後の予測を計算している<sup>3)</sup>。本研究では、システム・ダイナミクスモデル<sup>4)</sup>を用いて、死亡率の変動を Age, Period, Cohort の 3 つの効果に分け、食塩を入れたシステム・ダイナミクスモデルを作成し、食塩量が減らなかつたときの死亡率の推移を推定して死亡数を反映させた。過去の性年齢階級別食塩摂取量を推定してモデルに含め、食塩過剰摂取が心血管死亡率に与える影響を Cohort 効果と Period 効果に分けた。20 歳未満は食塩摂取量による CVD への影響は少ないため含めず、20 歳以上の死亡率をキャリブレーションの対象とした。Period 効果と Cohort 効果の係数はキャリブレーションにより最適値を求め、1950 年から食塩摂取量が減少しなかつた場合(栄養政策がなかった場合)の男女別(20—70 歳未満)の死亡率をシミュレーションした。

なお、本研究ではシステム・ダイナミクスの統計ソフトとして Vensim DSS for Macintosh Version 8.2.0 Double Precision x64 (Intel) を用いた。

### 2. モデルの構築・変数

作成したモデルでは、統計の入手可能性の制限から、1950 年から 2017 年を対象とした。また、予防可能な死、特に心血管疾患死亡を防ぐというスコープから、70 歳までの死亡率をモデルの対象とすることとした。そのことから、1950 年時点では、1950 年生まれの 0 歳から 1880 年生まれの 70 歳までが含まれ、2017 年時点では、2017 年生まれの 0 歳から 1947 年生まれの 70 歳までが含まれることとなった。世代(Cohort)としては、1880 年生まれから 2017 年生まれまでの 138 コホートに分けた。また、男女で出生数や死亡率が異なることから、男女を分けてモデルを作成した。

作成した本年度のモデルの概観は図 1 の通りである。

本年度のモデルではストック変数は 0 歳から 70 歳までの人口(Population)のみとして、イベントとしてはインフローとして

の出生(Birth)と、アウトフローとしての死亡(Death)、70 歳の誕生日(Aged70)を設定した。Population の初期値は、1949 年までに生まれたコホートでは 1950 年時点の男女別、1 歳ごとの総人口<sup>5)</sup>を用いて、1950 年以降に生まれたコホートでは 0 とした。1950 年以降に生まれたコホートでは、それぞれのコホートの出生年に、国立社会保障・人口問題研究所の日本版死亡データベースの web ページ<sup>6)</sup>で提供されている、国勢調査をもととした出生数が増分として加わることとした。一方、死亡については、後述の死亡率に、各年次・コホートの人口を掛け合わせたものを死亡とした。また、70 歳時点の人口を全て、対象外の年齢になったということでモデルの外に流出させた。年齢は年次と出生年の差として計算した。

死亡率に関しては、age、period、cohort の 3 つの効果からなる関数に、食塩摂取の心血管死亡率に与える影響を period 効果と cohort 効果にわけて影響させた。具体的には、まず 1950 年時点の各年齢の死亡率をまず規定した(age effect)。それに、1950 年から 1 年経過するごとに p 倍死亡率が増える(または減る)パラメータ p を掛け(period effect)、さらにコホートが 1 つ上がるごとに c 倍死亡率が増える(または減る)パラメータ c を掛けることとした(cohort effect)。1950 年の死亡率は、国立社会保障・人口問題研究所の日本版死亡データベースの web ページ<sup>6)</sup>で提供されている生命表からのデータを用いた。食塩摂取量と関係のある Cohort 効果、Period 効果、CVD 死亡率をモデルに含めた。後述の食塩摂取が死亡率に与える影響を推定し、心血管死亡のみに影響を与えるという仮定のもとで死亡率に影響させた。死亡率に与える影響は、1 : 2 と仮定して Period 効果と Cohort 効果に分けた。20 歳未満は食塩摂取量による CVD への影響は少ないと想定していない。食塩量が減らなかつたときの死亡率の推移を推定し、死亡数を反映させた。

食塩摂取量について取得可能なデータは、1995 年以降では全体平均、男女別平均、性年齢階級別で、1973 年から 1994 年までは全体平均のみである<sup>1)</sup>。1972 年以前の全体平均については、1973 年から 1986 年までのデータが比較的直線的に推移(図 2)しているため、こちらに近似直線を外挿して、平均値を推定した。戦前は 20g 程度という記載<sup>7)</sup>があるため、20g 以上になる年は 20g とした。1995 年まで、年齢階級別までの値を補

間して 1 歳刻みの推定値を算出した。1994 年以前については、1995 年から 2017 年の性年齢別の食塩摂取量の推定値の平均値と、同時期の全体平均推定値の平均値の比を取り、その比を 1994 年以前の全体平均値に乗じることで、性年齢別（1 歳刻み）の食塩摂取量の推定値を求めた（図 3、図 4）。

食塩摂取が死亡率に与える影響の推定については、Poggio ら<sup>8)</sup>のメタ回帰分析において、1 日あたりの食塩摂取量が 10mmol (0.584g) 増えるごとに、心血管死亡率が 1% 増えるという報告がある。心血管死亡の全死亡に占める割合は年ごとに異なるため、心血管死亡のみに影響を与えるという仮定のもとで死亡率に影響させた。死亡率に与える影響は、Period 効果と Cohort 効果にわける。現時点の食塩摂取量と以前からの食塩量のどちらのほうが心血管疾患に影響を与えるかを検討し、以前からの食塩摂取量のほうが大きく影響すると考え、1 : 2 と仮定してモデルに入れた。

### 3. モデルの最適化とシミュレーション

上記モデルで 20 歳以上の死亡率をキャリブレーションの対象とした。食塩摂取以外の効果としての Period 効果、Cohort 効果、そして年齢による死亡率の変化（Age 効果）をその他に考え、Period 効果と Cohort 効果について係数を変化させることで、モデルを最適化させた。

最適化するのに得られた Period 効果と Cohort 効果の係数をそのままに、性・年齢別の食塩摂取量が（1）1950 年から低下しなかった場合、すなわち栄養政策がうまくいかなかった場合として全く影響がなかった場合と、（2）効果が 25% であった場合、（3）効果が 50% であった場合、（4）効果が 75% であった場合をシミュレーションした。

#### （倫理面への配慮）

本研究で作成されるシステム・ダイナミクスモデルは、人口推計、人口動態統計など政府統計の結果としての数値、公開された学術論文から引用されるパラメータなどのみを用いるもので、個人情報は用いることはない。そのため、本研究は「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の適用範囲外である。

### C. 研究結果

食塩摂取量が死亡率に与える影響については、男性では、死亡率の上昇が、1950 年代コホートでは 2.8%、1990 年代コホート

では 4.1% であった（図 5-1、図 5-2）。これらの差は、Cohort 効果がどれだけ加わっているか（後に生まれた世代ほど、Cohort 効果が大きい）、食塩摂取量の実際との差分がどれだけ大きいか（先に生まれた世代ほど Period 効果が大きい）の和として生じている。女性では、死亡率の上昇が、1950 年代コホートでは 2.4%、1990 年コホートでは 3.6% であった（図 6-1、図 6-2）。女性のほうが、観察範囲で死亡率はもともと低値であり、さらに死亡率の上昇は緩やかであった。

Period 効果と Cohort 効果の係数はキャリブレーションにより最適値を求め、1950 年から食塩摂取量が減少しなかった場合

（栄養政策がなかった場合）の男女別（20-70 歳未満）の死亡率をシミュレーションした。その結果、死亡数でみると、男性では、全く食塩摂取量が変わらなかつたと仮定した場合、期間全体を通じて約 20.8 万人（図 7-1、図 7-2）、女性では期間全体で約 11.5 万人の死亡を抑制することができたと推計される（図 8-1、図 8-2）。図 8-2（女性）では図 8-1（男性）と違い、90 年代から低下を認めているが、これは実際の心血管死者数も減少傾向にあることが理由であると考えられる。また、1970 年代前半までの変化が直接的なのは、食塩摂取量を直線的に仮定して定めたことが原因と考えられる。50%、75% の効果が部分的にあったと考えた場合の死者数は、ほぼ線形に変化を認め、例えば食塩摂取量が 1950 年からの変化（減少）の 75% に止まった場合の超過死亡数は、男性で約 5.2 万人、女性で約 2.9 万人であった。

### D. 考察

本解析では、食塩摂取の減少が 20 歳から 70 歳の死亡数に与える影響をシステム・ダイナミクスモデルにより検討した。20 歳から 70 歳という、比較的死亡が少ない層に与える影響をみた点、また、心血管死亡のみに与えた影響を見ており、死亡率に与える影響は 2-4% 程度と大きくはなかった。三輪ら<sup>3)</sup>は、1975 年から 2003 年までの実績値を APC モデルに代入し、2005 年からの時代効果一定に位置づけられるシナリオ、死亡率への影響が減弱するシナリオ、死亡率が減少し続けるシナリオの 3 つを比較しており、減弱するシナリオでは最大 25% 程度の低下が認められる。この理由としては、対象とする範囲が違うこと（1950 年代などの情報が採

られていないこと)、年齢層が 70-79 歳も対象であることなどが考えられる。本邦における 1990 年から 2015 年までの平均寿命の延伸に与えた因子 (burden of disease) を調べた研究<sup>9)</sup>では、心血管疾患の影響が最も大きいとされており、食塩摂取の減少の他、喫煙率の減少が大きな影響を与えていたとされる。今後、これらの先行研究と本研究結果の比較を詳細に行うことで、本研究結果の妥当性の検証を行う必要がある。

#### E. 結論

1950 年から 2017 年までの本邦における死亡率を age, period, cohort の 3 つの効果に分けるモデルを作成し、実際の死亡率に合わせて最適化した。今後、より精緻なモデルを作成し、また、今回の解析に基づいた仮定を感度分析して影響を定量化することなどを通じて、栄養効果の政策評価を行なっていくことが重要であると考えられる。

#### F. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

#### G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

#### 引用文献

1. 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所国立健康・栄養研究所「国民健康・栄養調査」  
[https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/eiyouchousa/kekka\\_eiyouchousa\\_nendo.html](https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/eiyouchousa/kekka_eiyouchousa_nendo.html)
2. Hernán MA, Robins JM (2020). Causal Inference: What If. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC
3. 三輪のり子、中村隆、成瀬優知、大江洋介、大野ゆう子、わが国における 20 世紀の脳血管疾患死亡率の変動要因と今後の動向. 日本公衆衛生雑誌. 2006;53(7):493-503
4. Forrester JW. Industrial dynamics. Journal of the Operational Research Society. 1997;48(10):1037-41
5. e-Stat. 人口推計 / 長期時系列データ 我が国の推計人口 (大正 9 年～平成 12 年) . 2008 [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200524&tstsa=000000090001&cycle=0&tclass1=000000090004&tclass2=000000090005&stat\\_infid=000000090264&tclass3val=0](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200524&tstsa=000000090001&cycle=0&tclass1=000000090004&tclass2=000000090005&stat_infid=000000090264&tclass3val=0)
6. 国立社会保障・人口問題研究所. 日本版死亡データベース <http://www.ipss.go.jp/p-toukei/JMD/index.asp>.
7. 大森憲太、食餌療法. 日本医事新報. 1936;713:1591-1664
8. Poggio et al. Daily sodium consumption and CVD mortality in the general population: systematic review and meta-analysis of prospective studies. Public Health Nutrition. 2015;18(4): 695-704.
9. Nomura H, et al. Population health and regional variations of disease burden in Japan, 1990-2015: a systematic subnational analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. Lancet. 2017;390:1521-1538.

図1. 本研究で作成したシステム・ダイナミクスモデル

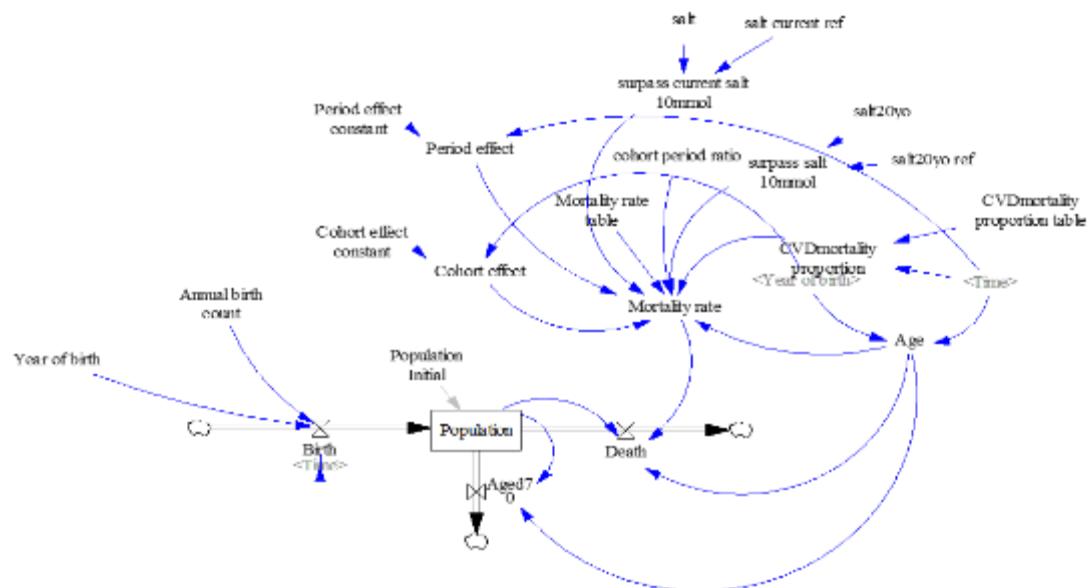
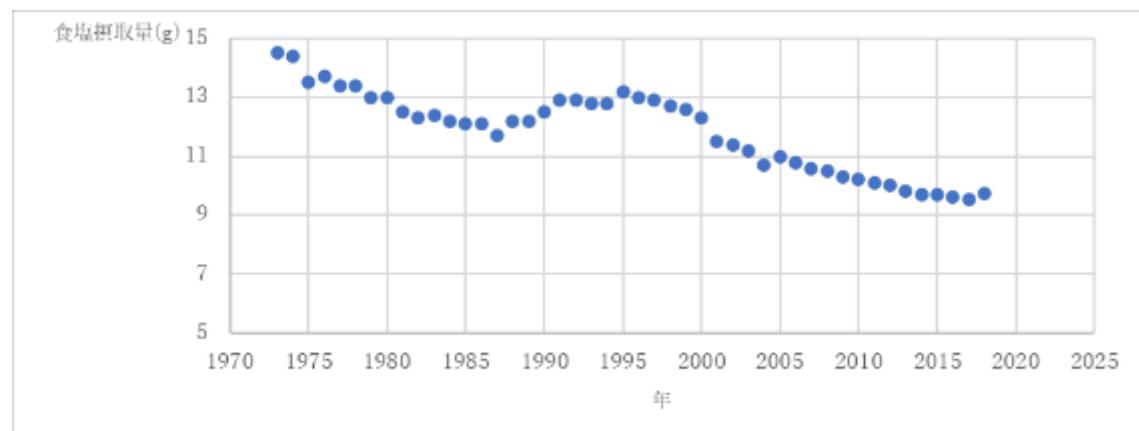


図2. 食塩摂取量の推計



(厚生労働省 国民栄養調査、国民健康・栄養調査より引用)

図3. 食塩摂取量の推定（年ごと、男性）

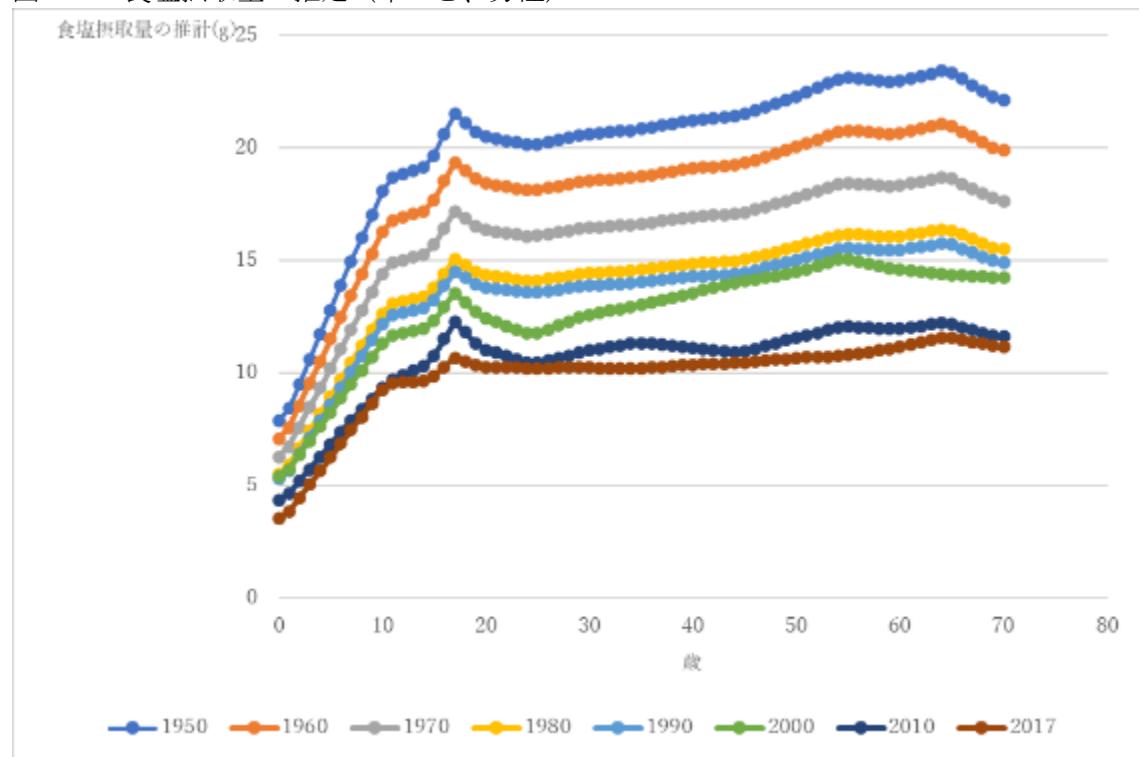


図4. 食塩摂取量の推定（年ごと、女性）

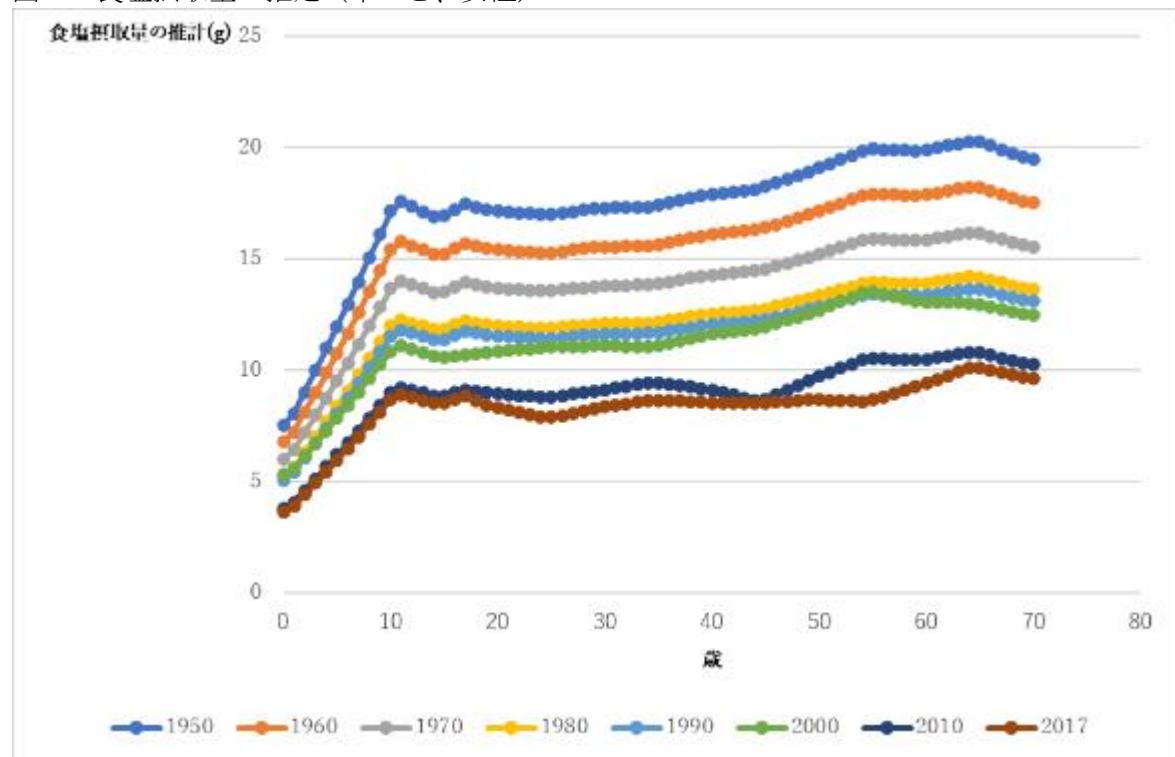


図5—1. シナリオごとの全死因死亡率の年次推移（1950年男性コホート）

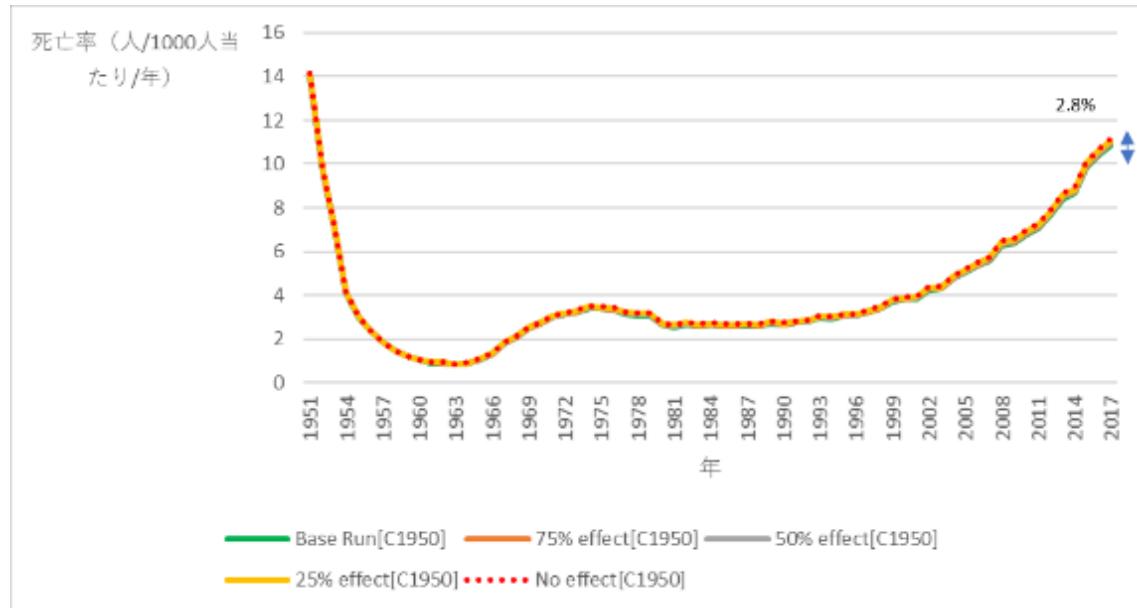


図5—2. シナリオごとの全死因死亡率の年次推移（1990年男性コホート）

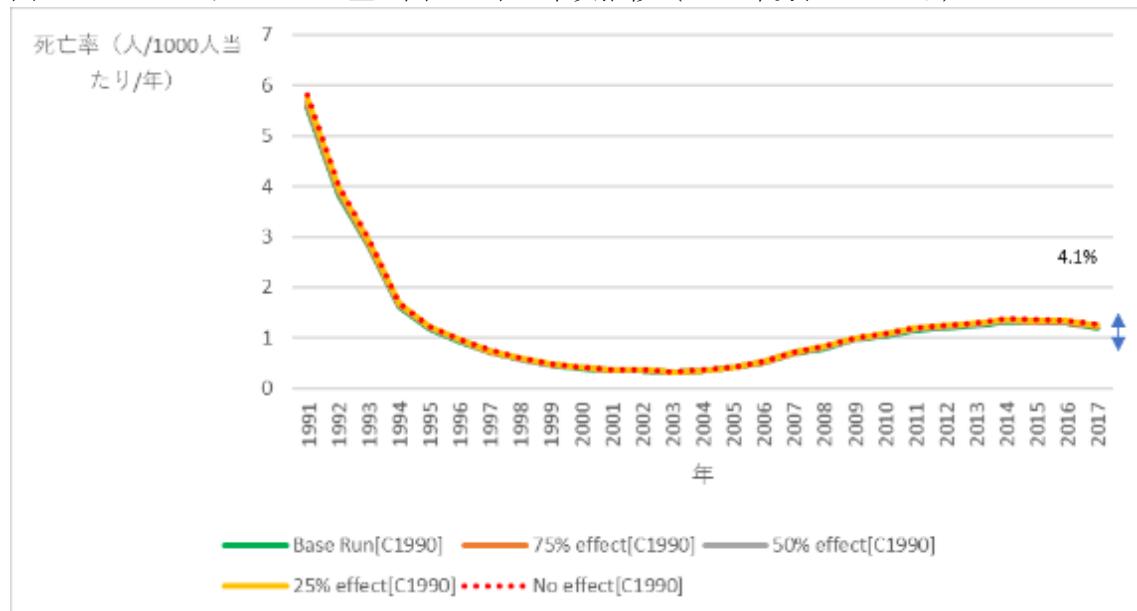


図6-1. シナリオごとの全死因死亡率の年次推移（1950年女性コホート）

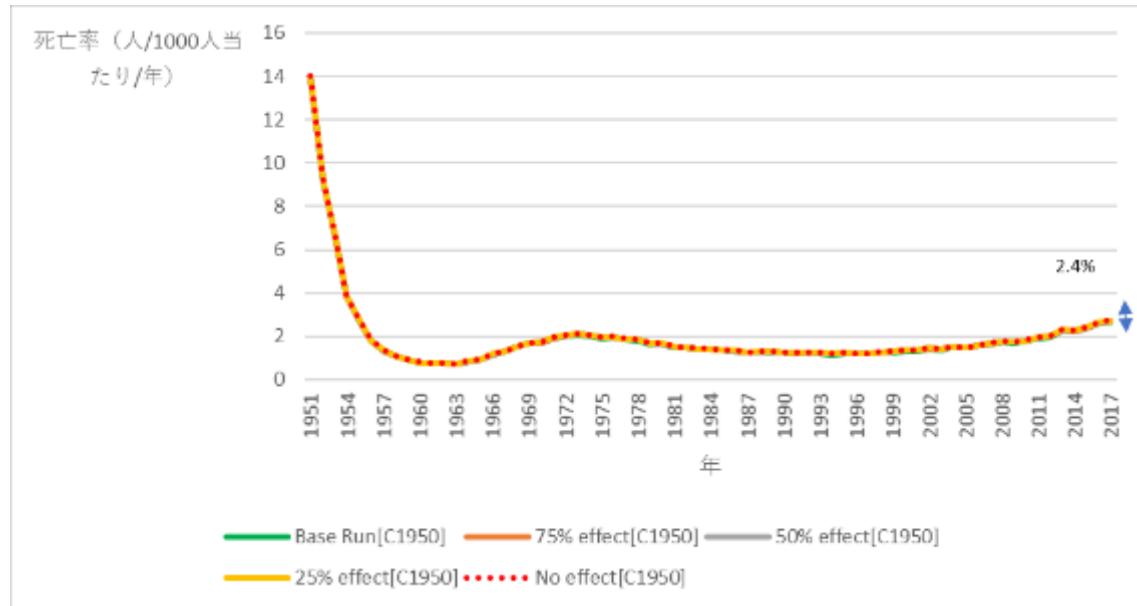


図6-2. シナリオごとの全死因死亡率の年次推移（1990年女性コホート）

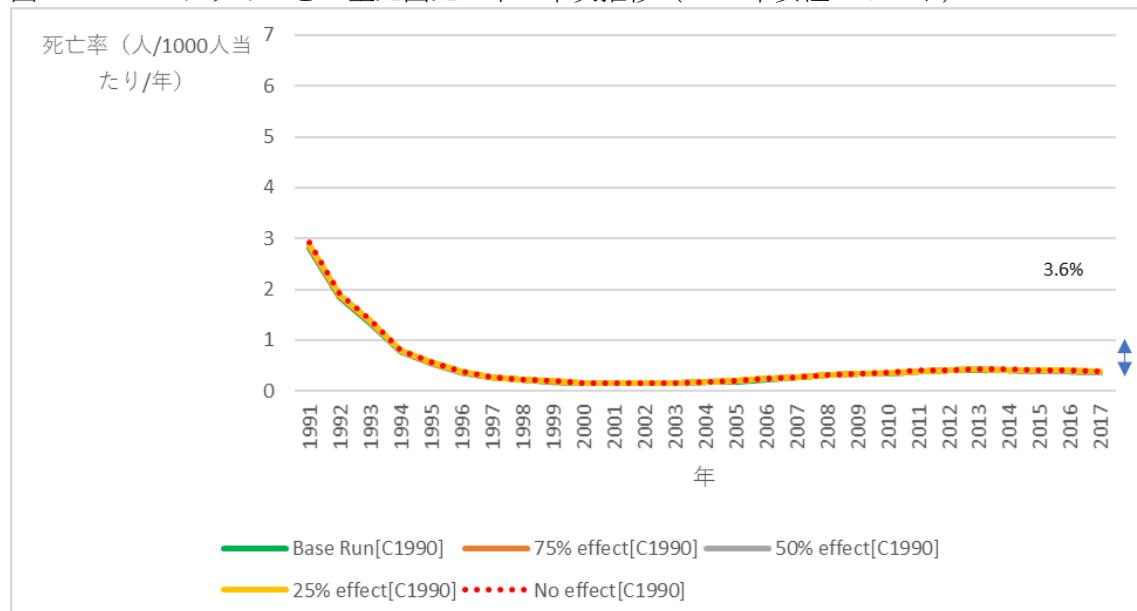


図7－1 20-70歳の年間死亡数への影響 (Base Runとの差分、男性) -年次推移—男性

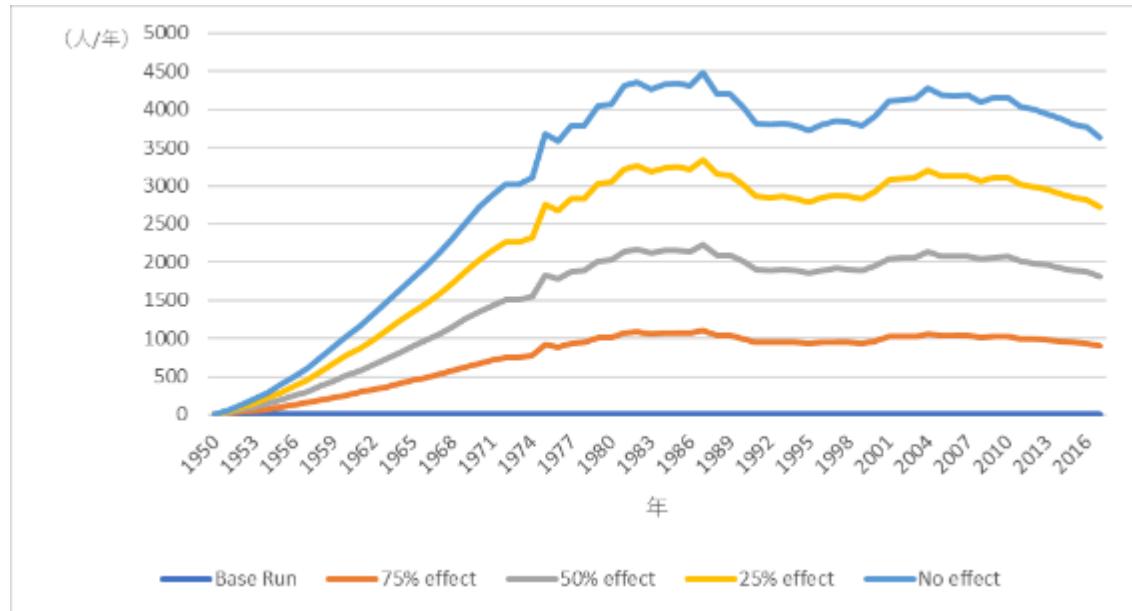


図7－2 20-70歳の年間死亡数への影響 (Base Runとの差分、男性) -累積超過死亡数—男性

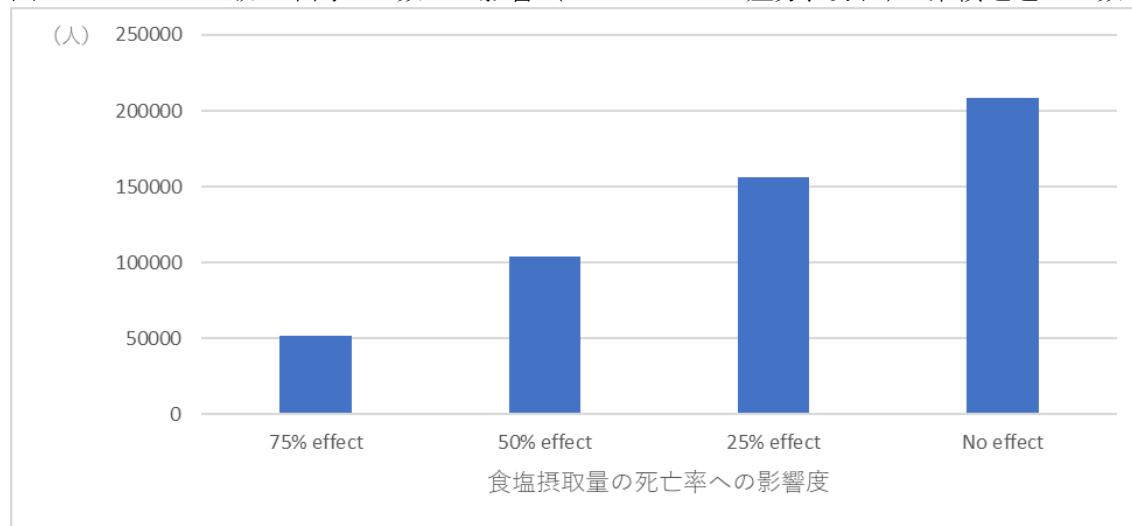


図8－1 20-70歳の年間死亡数への影響 (Base Runとの差分、女性) -年次推移—女性



図8－2 20-70歳の年間死亡数への影響 (Base Runとの差分、女性) -累積超過死亡数—女性

