

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

マルコフモデルシミュレーションによる減塩政策の費用便益分析

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 加藤 浩樹 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 山田 めぐみ 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

日本の栄養政策の効果に関する経済評価手法の開発の一環として、英国の減塩政策を日本で実施した場合の循環器疾患関連医療費の抑制効果について、マルコフモデルシミュレーションによる費用便益分析を行った。

先行研究を参考に、英国の減塩政策のうち、メディアによる健康的な食生活と身体活動の促進キャンペーン（政策 A）と食品業者の自主的な加工食品の減塩（政策 B）を検討した。シミュレーションのため、各政策の下で集団が健常から循環器疾患に罹患し死亡する状態遷移の過程のモデルを作成した。データには、日本の疫学データと海外の先行研究の結果を用いた。循環器疾患関連医療費の抑制額を便益として、政策費用との差額である純便益について、2019 年から 2028 年までの 10 年間のシミュレーションを行った。

シミュレーションの結果、純便益は政策 A で約 666 億円、政策 B で約 3,535 億円と推計され、政策 B の方が優位であった。ただし、政策 B への年間補助金が約 437 億円を超えると、政策 A の方が優位となった。

減塩政策による循環器疾患予防の費用対効果の将来予測のために、部分的にはあるが日本のデータを当てはめてシミュレーション分析を行う手順を提示した。今後の研究で経済評価手法を精緻化するため、日本の減塩見積量や政策費用のデータを収集する必要があること等の課題を明らかにした。

A. 目的

近年、世界人口の高齢化とともに循環器疾患（cardiovascular disease, CVD）に関連する医療費等が増大している。日本では、心疾患は悪性新生物に次ぐ第 2 位の死因で、2019 年の死亡者数は約 21 万人（高血圧性を除く）であった¹⁾。2018 年度の国民医療費 31 兆 3,251 億円のうち、CVD は 6 兆 596 億円（19.3%）で最も大きな割合を占めた²⁾。

CVD の発症を予防して医療費等の社会保障費を抑制するには、適切な栄養政策を実施する必要がある。しかし、日本では栄養政策の公衆衛生学的効果と社会保障費抑制効果に関する評価手法が確立されていない。

日本と同様に CVD 関連医療費が増加した英国では、2000 年代に実施された減塩政策が成功し、国民の食塩摂取量が低下した³⁾。具体的な減塩政策としては、メディアによる健康的な食生活と身体活動のキャンペーンや、信号機システムを用いた加工食品のラベリング、食品業者による自主的な加工食品の減塩が行われた。さらに、英国ではシ

ミュレーションモデルを用いた経済評価分析も行われた⁴⁾。そこで本研究では、日本の栄養政策の効果に関する経済評価手法を開発するための検討として、先行研究のシミュレーションモデルを参考に、英国と同様の減塩政策を日本で実施した場合の将来の CVD 関連医療費抑制効果に関する費用便益分析を行った。

B. 研究方法

1. 分析対象の減塩政策

英国（イングランドとウェールズ）の先行研究⁴⁾で検討された栄養政策のうち、比較的日本で実施しやすいと考えられる 2 つの政策を分析対象とした。1 つ目は、Change4Life と呼ばれるメディアによる健康的な食生活と身体活動を促進する広告キャンペーンで、政策 A とした。2 つ目は、英国食品基準庁（Food Standards Agency）の食塩摂取目標に基づく食品業者の自主的な加工食品の減塩で、政策 B とした。

2. シミュレーションによる費用便益分析

本研究では、減塩政策を10年間実施して削減されるCVD関連医療費を便益として、政策の実施にかかる費用との差である純便益を計算し、政策間で比較する費用便益分析を行った。シミュレーションには、先行研究⁴⁾を参考にしてマルコフモデルによるコホートシミュレーションを採用した。図1は、コホート(集団)が健康と罹患、死亡といった複数の健康状態の間を確率的に推移するマルコフモデルの基本構造を示している⁵⁾。

本研究では、政策Aと政策Bの下で、健康な集団がCVDに罹患し死亡していく状態遷移をモデル化した(図2)。なお、CVDの特徴を考慮して、CVDに一度罹患すると健康に戻ることはない⁶⁾と仮定した。

TreeAge Pro Healthcare 2020 (TreeAge Software, Williamstown, MA, USA)⁶⁾を用いて、シミュレーションモデルを作成した(図3)。モデルに使用したデータを表1に示す。日本の総人口は、2019年10月1日現在の人口推計⁷⁾から126,167,000人とした(図3のpop)。まず、CVD有病率に基づき、シミュレーション開始時点の健康者(1-prev)とCVD患者(prev)の割合を設定した。有病率のデータには、世界の疾病負担研究(Global Burden of Disease Study, GBD)のデータベース⁸⁾から、2019年の日本の6.3%(年齢調整済み)を使用した(表1)。

健康状態は1年間に1回、遷移すると仮定して、2019年から2028年までの10年間のシミュレーションを行い、費用と便益の累計を算出した。シミュレーションでは、健康(図3のWell)から罹患(Event)、健康から死亡(Dead)、罹患から死亡への遷移を各政策に設定した。これらの状態遷移の確率は、CVDの罹患と死亡の年間確率(p_{i_CVD} 、 p_{m_CVD})と、政策による食塩摂取量の減少に伴う罹患率と死亡率の減少割合($t_{ir_Policy_A_stage}$ 、 $t_{mr_Policy_A_stage}$ 等)の積として求めた。

CVDの罹患率と死亡率のデータには、有病率と同様にGBD⁸⁾から2019年の日本の年齢調整済みの値を使用した(表1)。10万人年当たりの値を年間確率に変換して、シミュレーションに用いた。

食塩摂取量のデータには、令和元年国民健康・栄養調査⁹⁾の1日平均食塩摂取量(10.1グラム)を初期値として使用した(表1)。先行研究を参考に、10年間の減塩見積量は、政策Aで2%、政策Bで15%とした

⁴⁾。毎年の減塩見積量については、毎年同率の減塩が達成されたと仮定し、政策Aで約0.2%、政策Bで約1.6%とした。食塩摂取量の初期値と減塩見積量から、毎年の食塩摂取量を計算した(表2)。

先行研究のメタアナリシス結果から、1日食塩摂取量2.54グラムの減少につきCVD罹患率が94%に減少¹⁰⁾、1日食塩摂取量0.58グラムの減少につきCVD死亡率が99%に減少¹¹⁾する¹²⁾とした。これらの値と毎年の食塩摂取量の減少量から、毎年のCVDの罹患率と死亡率の減少割合を算出した(表2)。

医療費については、平成30年度国民医療費²⁾の傷病分類別医科診療医療費を使用した。CVD関連医療費は、入院が3兆6,882億円(図3のc_m_A)、入院外が2兆3,741億円(c_m_NA)であった(表1)。シミュレーションモデルでは、CVDに罹患すると毎年の入院外医療費が発生し、CVDが再発すると追加で入院医療費が発生すると仮定した。国民医療費では患者数が不明のため、一人当たりに変換せず合計のまま計算した。

政策費用については、先行研究⁴⁾は、10年間で政策Aに政策自体の費用として約5,004万ポンド、政策Bにモニタリング費用として約2,146万ポンドを推計した(表3)。本研究では、2018年度の国民医療費を使用したことから、2018年7月1日時点の為替レート(1ポンド=145.75円)で円換算した。また、日本の総人口(2019年10月1日現在、1億2616万7千人)は、イングランドとウェールズの人口の約2倍であるため、先行研究の政策費用を2倍にした。そして、10年間の費用を10で除して1年分にする¹³⁾と、政策Aで約14億5,866万円(図3のc_p_A)、政策Bで約6億2,560万円(c_p_BM)となった(表3)。

ところで、先行研究⁴⁾では、政策Aと政策B、信号機システムを用いた加工食品のラベリングのほかに、食品業者への法規制による強制的な加工食品の減塩も検討された。この減塩政策の費用には、政策Bと同額のモニタリング費用と、政策自体の費用として10年間で5億ポンドが推計され(生産ライン1つ当たりの費用25,000ポンド×20,000ライン)、合計で約152億円となった(表3)。本研究では、これを参考に政策Bへの補助金を仮定した。年間補助金額の初期値を150億円(図3のc_p_BS)とし、政策Bの費用年額を約156億2,560万円(c_p_B)とした(表3)。

3. 感度分析

マルコフモデルによるシミュレーション結果の不確実性を検証するため、ある特定の変数を一つずつ変化させたときの純便益の変化を確認した。この一元感度分析では、CVDの有病率と罹患年間確率、死亡年間確率を、95%不確定区間の下限値から上限値までの間で変化させた。また、年間補助金額を0円から500億円までの間で変化させた。

(倫理面への配慮)

本研究はすでに公開されている研究論文及び政府統計の公表値を用いてシミュレーションを行ったものであり、「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

1. 純便益

10年間のシミュレーションの結果、純便益額は政策Aで66,689,859,653円、政策Bで353,507,144,656円であった。純便益の差額は286,817,285,003円で、政策Bが医療費抑制効果において優位であった。

2. 感度分析

図4は、一元感度分析結果のトルネード図を示している。CVDの有病率および罹患と死亡の年間確率を変化させたところ、2つの政策の優劣は変わらなかった。一方、年間補助金額を0円から上昇させたところ、43,681,953,149円で優劣が逆転し、政策Aが優位となった。

D. 考察

英国での減塩政策を日本で実施した場合を想定し、10年間のマルコフモデルシミュレーションによる費用便益分析を試験的に行った。その結果、健康的な食生活と身体活動のメディアキャンペーンよりも、食品業者による自主的な加工食品の減塩のほうが、より大きな純便益をもたらす可能性が示唆された。この結果は、各政策の減塩見積量と政策費用を考慮すると、ある程度予想されたものであった。しかしながら、減塩政策によるCVD予防の費用対効果の将来予測のために、部分的にはあるが日本のデータを当てはめてシミュレーション分析を行う手順を提示した点に、本研究の意義があると考えられる。

今後の研究の方向性としては、2点が挙げられる。1点目として、減塩見積量と政策費

用について、今回の分析では英国の値を用いたが、日本のデータを収集する必要がある。これらのデータを追加的にモデルに組み入れることにより、日本の特徴をより明確に反映した減塩政策評価モデルを構築することができる。2点目として、今回の分析モデルでは、2つの減塩政策の医療費抑制効果を比較したが、複数の政策を同時に行った場合の純便益の評価も必要である。そのためには、複数の政策を混合させた場合の減塩見積量のデータや、政策効果を混合する計算手法について検討が必要である。

E. 結論

先行研究を参考に、英国の減塩政策を日本で実施した場合のマルコフモデルシミュレーションによる費用便益分析を行った。日本のデータを取り入れた減塩政策のシミュレーションモデル作成の足掛かりとするとともに、今後の研究で経済評価手法を精緻化するために必要な課題を示した。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

加藤浩樹, 池田奈由, 杉山雄大, 由田克士, 西 信雄. 栄養政策による循環代謝疾患予防の将来予測的シミュレーションに関するレビュー. 第79回日本公衆衛生学会総会 2020年10月, 京都市.

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

引用文献

- 1) 厚生労働省. 令和元年(2019)人口動態統計(確定数)の概況. 2020. https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei19/dl/15_all.pdf (2021年5月11日アクセス可能).
- 2) 厚生労働省. 平成30年度国民医療費の概況. 2020. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-iryohi/18/dl/data.pdf> (2021年5月11日アクセス可能).
- 3) He FJ, Brinsden HC, MacGregor GA. Salt reduction in the United Kingdom: a successful experiment in public health. *J Hum Hypertens* 2014; 28: 345-352.

- 4) Collins M, Mason H, O'Flaherty M, et al. An economic evaluation of salt reduction policies to reduce coronary heart disease in England: a policy modeling study. *Value Health* 2014; 17: 517-524.
- 5) 日本製薬工業協会 データサイエンス部会 2014年 タスクフォース3. 医薬品の価値の科学的な評価ーデータサイエンス担当者のための費用対効果評価の現状と手法の解説ーVer 2.0. 2016年.
http://www.jpma.or.jp/medicine/shinyaku/tiken/allotment/pdf/2014ds_tf3.pdf (2021年5月11日アクセス可能).
- 6) TreeAge Pro 2020. TreeAge Software, Williamstown, MA; software available at <http://www.treeage.com>.
- 7) 総務省統計局. 人口推計.
<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/2019np/index.html> (2021年5月11日アクセス可能).
- 8) Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) Results. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2020. Available from <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool> (2021年5月11日アクセス可能).
- 9) 厚生労働省. 令和元年国民健康・栄養調査. 2020.
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryou/kenkou/eiyou/r1-houkoku_00002.html (2021年5月11日アクセス可能).
- 10) Wang Y, Yeh T, Shih M, Tu, et al. Dietary sodium intake and risk of cardiovascular disease: a systematic review and dose-response meta-analysis. *Nutrients* 2020; 12: 2934.
- 11) Poggio R, Gutierrez L, Matta MG, Elorriaga N, Irazola V, Rubinstein A. Daily sodium consumption and CVD mortality in the general population: systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Public Health Nutr* 2015; 18: 695-704.

表 1. データ

| 変数 | 初期値* | 出典 |
|----------------------------|---------------------------------------|--|
| 総人口 | 126,167,000 人 | 人口推計、2019 年 10 月 1 日現在 ⁷⁾ |
| CVD 有病率 (年齢調整済み) | 6.3362869% (6.0715183%、6.598487%) | GBD、2019 年 ⁸⁾ |
| CVD 罹患率 (10 万人年当たり、年齢調整済み) | 538.0989551 (510.3453755、568.212642) | GBD、2019 年 ⁸⁾ |
| CVD 死亡率 (10 万人年当たり、年齢調整済み) | 77.00994346 (64.38391354、83.95743974) | GBD、2019 年 ⁸⁾ |
| 1 日食塩摂取量 | 10.1 グラム | 令和元年国民健康・栄養調査 ⁹⁾ |
| 政策 A の 10 年間の減塩見積量 | 2% | Collins M, et al. (2014) ⁴⁾ |
| 政策 B の 10 年間の減塩見積量 | 15% | Collins M, et al. (2014) ⁴⁾ |
| 減塩による CVD 罹患率の変化 | 1 日 Na 摂取量 1 グラム増加につき 6%増加 | Wang Y, et al. (2020) ¹⁰⁾ |
| 減塩による CVD 死亡率の変化 | 1 日 Na 摂取量 10 mmol 増加につき 1%増加 | Poggio R, et al. (2015) ¹¹⁾ |
| CVD 医療費 | 入院 3 兆 6882 億円、入院外 2 兆 3741 億円 | 平成 30 年度国民医療費 ²⁾ |

CVD、循環器疾患；GBD、Global Burden of Disease 研究

*カッコ内の値は 95%不確定区間の下限値と上限値

表 2. 10 年間のシミュレーションにおける 1 日食塩摂取量と CVD 罹患率、CVD 死亡率の減少割合

| | 1 年目 | 2 年目 | 3 年目 | 4 年目 | 5 年目 | 6 年目 | 7 年目 | 8 年目 | 9 年目 | 10 年目 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 政策 A | | | | | | | | | | |
| 1 日食塩摂取量 (グラム) | 10.080 | 10.059 | 10.039 | 10.019 | 9.998 | 9.978 | 9.958 | 9.938 | 9.918 | 9.898 |
| CVD 罹患率の減少割合 | 0.992 | 0.985 | 0.978 | 0.970 | 0.963 | 0.956 | 0.949 | 0.942 | 0.935 | 0.928 |
| CVD 死亡率の減少割合 | 0.965 | 0.932 | 0.899 | 0.868 | 0.838 | 0.809 | 0.782 | 0.755 | 0.729 | 0.704 |
| 政策 B | | | | | | | | | | |
| 1 日食塩摂取量 (グラム) | 9.937 | 9.777 | 9.619 | 9.464 | 9.312 | 9.162 | 9.014 | 8.869 | 8.726 | 8.585 |
| 減塩見積量 | | | | | | | | | | |
| CVD 罹患率の減少割合 | 0.940 | 0.884 | 0.832 | 0.785 | 0.740 | 0.699 | 0.661 | 0.625 | 0.592 | 0.562 |
| CVD 死亡率の減少割合 | 0.722 | 0.525 | 0.384 | 0.282 | 0.209 | 0.155 | 0.116 | 0.087 | 0.066 | 0.050 |

CVD、循環器疾患

表 3. 政策費用

| 政策 | 先行研究 (10 年間、ポンド) | | 日本 (年間、円) | | |
|-----|------------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | 政策費用 | モニタリング費用 | 政策費用+モニタリング費用 | 年間補助金 | 合計 |
| A | 50,039,670 | 0 | 1,458,656,381 | 0 | 1,458,656,381 |
| B | 0 | 21,461,538 | 625,603,833 | 15,000,000,000 | 15,625,603,833 |
| 参考* | 500,000,000 | 21,461,538 | 15,200,603,833 | 0 | 15,200,603,833 |

* 食品業者への法規制による強制的な加工食品の減塩

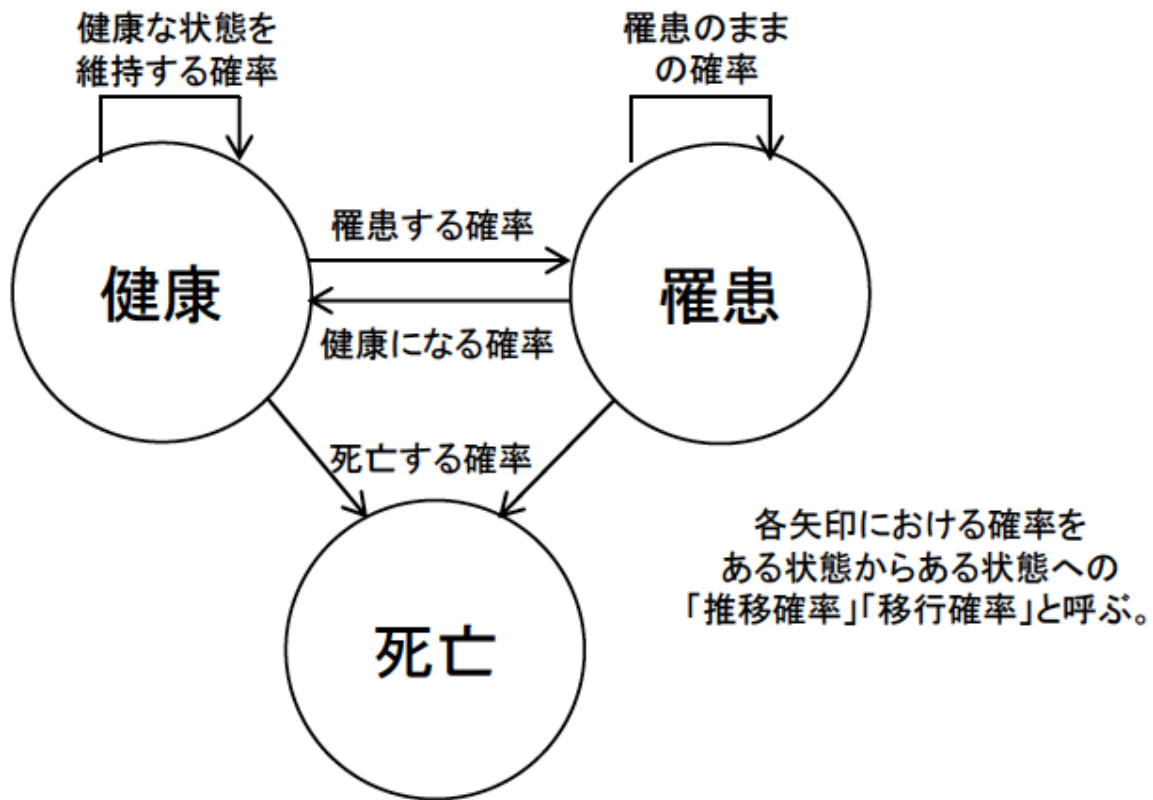


図1. マルコフモデルの基本構造⁵⁾

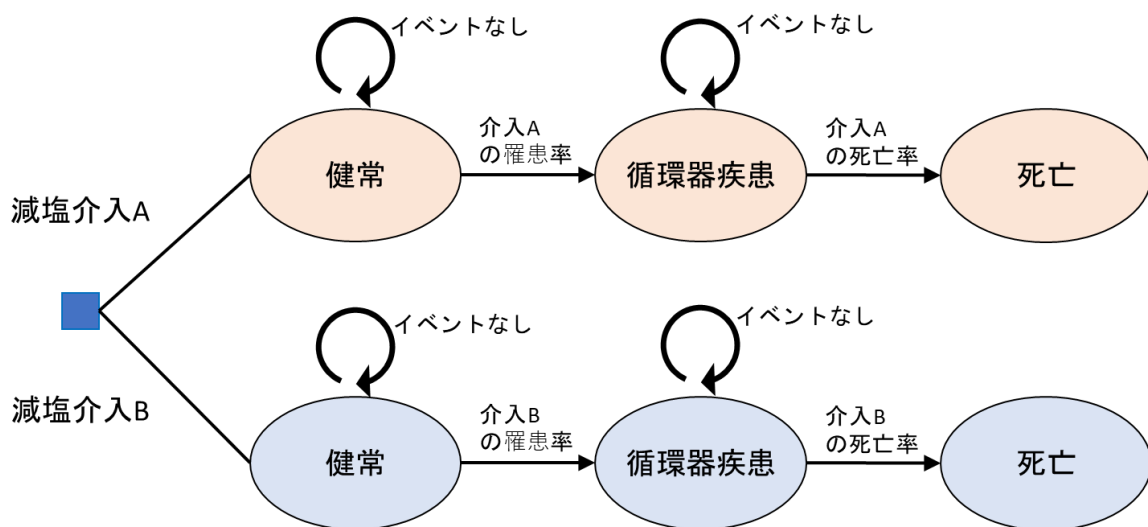


図2. 減塩介入のマルコフモデル概念図

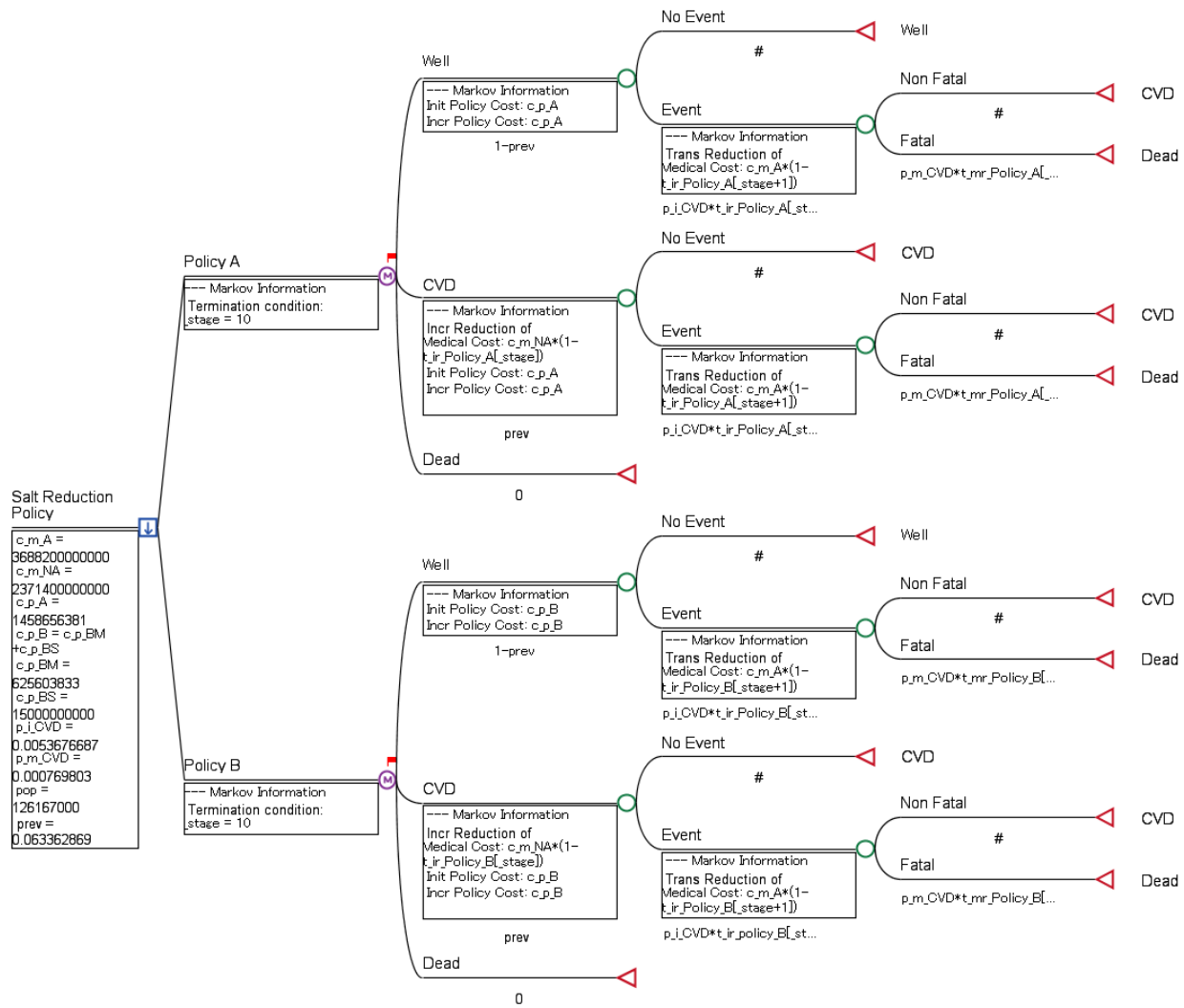


図 3. 費用便益分析のマルコフモデル

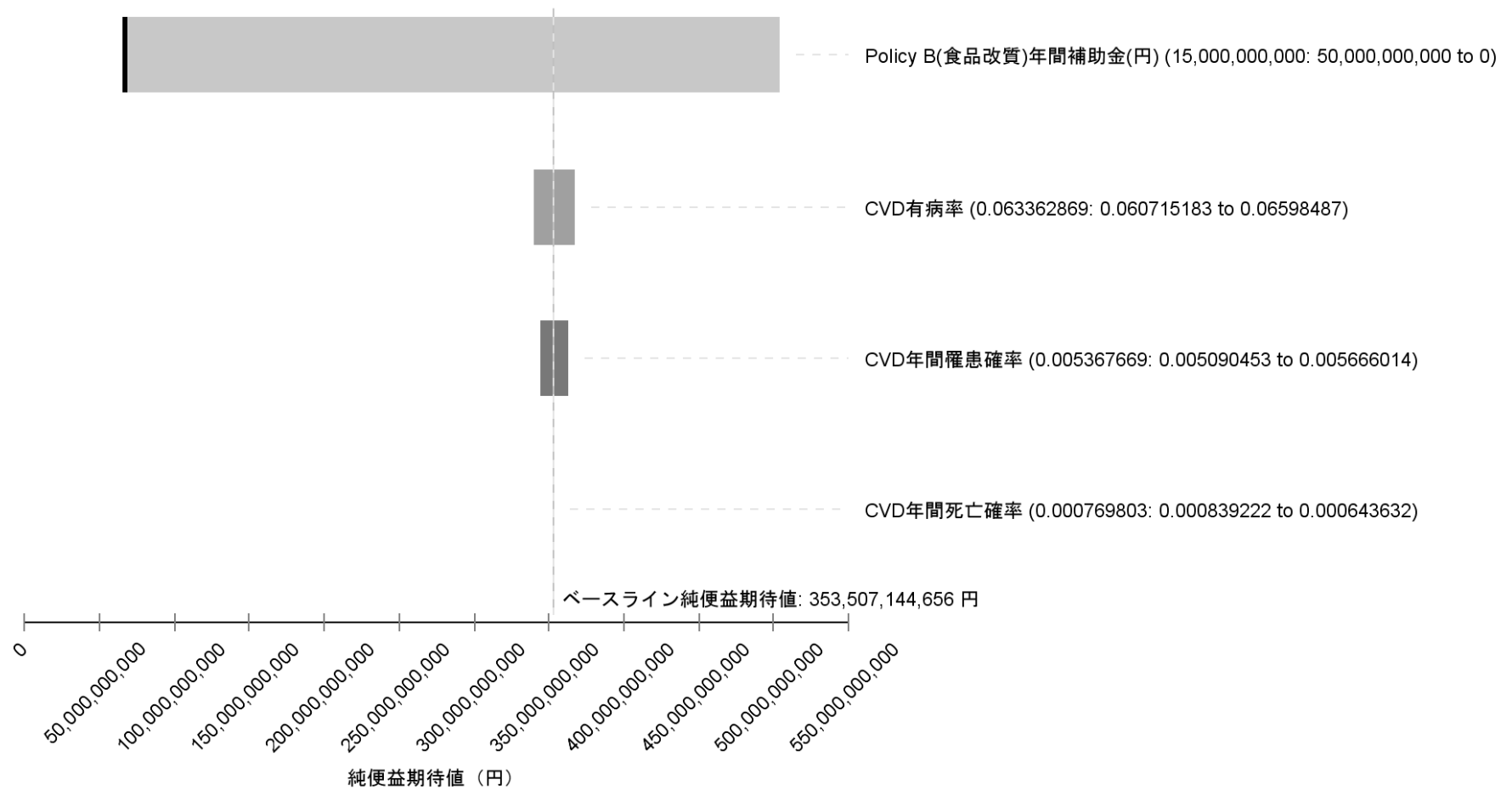


図 4. 一元感度分析結果のトルネード図