

## 資料

海外における減塩政策による循環器疾患予防に関する  
シミュレーションモデルを用いた医療経済的評価研究の現況

カトウ	ヒロキ	イケダ	ナユ	スギヤマ	タケヒロ
加藤	浩樹*	池田	奈由*	杉山	雄大*,2*,3*,4*,5*
ノムラ	マリカ	ヨシタ	カツシ	ニシ	ノブオ
野村	真利香*,6*	由田	克士*7*	西	信雄*

**目的** 日本では高齢化の進展とともに、循環器疾患に関連する医療と介護に要する社会保障費への国民負担がより一層増大すると予想されている。栄養政策は、国民の食生活改善を通じて循環器疾患を予防する効果が期待される。しかしその費用対効果の評価は、日本ではこれまでに行われていない。本研究は、減塩政策による循環器疾患予防に関する海外の医療経済的評価研究を概括し、日本の栄養政策の公衆衛生学的効果と社会保障費抑制効果の評価手法を構築するための基礎資料とすることを目的とした。

**方法** 循環器疾患予防介入の医療経済的評価に関する代表的なシミュレーションモデルとして、循環器疾患政策モデル (Cardiovascular Disease Policy Model), IMPACT モデル (IMPACT Coronary Heart Disease Policy and Prevention Model), 米国 IMPACT 食料政策モデル (US IMPACT Food Policy Model), ACE アプローチ (Assessing Cost-Effectiveness approach to priority-setting) および PRISM (Prevention Impacts Simulation Model) を抽出した。各モデルを応用してポピュレーションアプローチによる国レベルでの減塩政策の費用と効果を評価した海外の原著論文を収集し、モデルの概要、構造および応用研究を概括した。

**結果** 5つのモデルの構造としてマルコフ・コホートシミュレーション、マイクロシミュレーション、比例多相生命表、システム・ダイナミクスに基づき、減塩政策による食塩摂取量と血圧の低下を通じて循環器疾患の予防に至る過程がモデルに組み込まれていた。これらのモデルを応用した豪州、英国および米国の研究では、食品業界による義務または任意の市販加工食品中の食塩含有量の低減を中心に、健康増進キャンペーン、容器包装前面の食塩量表示等の減塩政策の費用と効果について、10~30年または生涯にわたる長期のシミュレーションによる評価が行われていた。

**考察** 海外では国の減塩政策による循環器疾患予防の費用と効果について、シミュレーションモデルに基づく医療経済的評価から得た科学的根拠を発信している。日本も減塩政策を中心にシミュレーションモデルを活用し、栄養政策の立案・評価に役立てることが期待される。

**Key words** : 栄養政策, 減塩政策, 循環器疾患予防, 医療経済的評価, シミュレーションモデル

日本公衆衛生雑誌 2021; 68(9): 631-643. doi:10.11236/jph.20-150

\* 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所国立健康・栄養研究所国際栄養情報センター

2\* 国立国際医療研究センター国際医療協力局グローバルヘルス政策研究センター

3\* 国立国際医療研究センター研究所糖尿病情報センター

4\* 筑波大学医学医療系ヘルスサービスリサーチ分野

5\* 筑波大学ヘルスサービス開発研究センター

6\* 独立行政法人国際協力機構人間開発部

7\* 大阪市立大学大学院生活科学研究科

責任著者連絡先: 〒162-8636 新宿区戸山 1-23-1  
国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所国立健康・栄養研究所国際栄養情報センター 池田奈由

## I 緒言

人生100年時代に向けた健康寿命の延伸と持続可能な健康長寿社会の実現のため、循環器疾患の予防は重要な公衆衛生課題である。超高齢社会を迎えた日本において、心疾患と脳血管疾患を含む循環器疾患はがんに次ぐ主な死因となっている<sup>1)</sup>。そして医療費についても、循環器疾患にかかる医療費は国民医療費の5分の1、とくに65歳以上では4分の1を占めている<sup>2)</sup>。また、少子高齢化は進展し、循環器

疾患と後遺症に関連して必要とされる医療と介護による社会保障費の国民負担はより一層増大すると予想されている。

日本人の循環器疾患の主要な危険因子の一つとして、食塩の過剰摂取による高血圧が挙げられる<sup>3)</sup>。日本人の食塩摂取量は、他の国々に比べて高い水準にある<sup>4)</sup>。国民の1日当たり食塩摂取量の平均値は長期的に減少傾向にあるが<sup>5)</sup>、2019年の値は約10gで<sup>6)</sup>、世界保健機関が推奨する削減目標値の5g<sup>7)</sup>を依然として大きく上回っている。国の減塩政策として、健康日本21（第二次）では食塩摂取量の削減目標値が設定されるとともに、企業による食品中の食塩量低減に向けた自主的な取り組みを促進するための社会環境づくりが推進されている。中間評価では、食塩摂取量の平均値が減少し、食品中の食塩量等の低減に取り組んだ登録企業数が増加した<sup>8)</sup>。また、食事摂取基準が2020年に改定され、成人1日当たり食塩摂取量の目標が引き下げられるとともに、高血圧と慢性腎臓病の重症化予防を目的とした目標が新たに設定された<sup>9)</sup>。さらに、食品表示法（平成25年法律第70号）が2015年4月に施行され、食品関連事業者が容器包装に入れられた一般用加工食品を販売する際には、ナトリウム（食塩相当量に換算）を含む5項目について栄養成分表示を行うことが義務付けられた<sup>10)</sup>。地方自治体においても、新潟県の「にいがた減塩ルネサンス運動」<sup>11)</sup>などの減塩運動が展開されている。

このように、日本では栄養政策の一環としてポピュレーションアプローチに基づく減塩政策が実施されているが、将来の社会保障費増大の抑制を考慮した費用と効果の評価はまだ行われていない。海外では、21世紀に入り世界保健機関を中心として、減塩政策を含む非感染性疾患の予防介入に関する国際的な医療経済的評価研究が行われた<sup>12,13)</sup>。とくに2010年以降、豪州、英国、米国等を中心にシミュレーションモデルを用いて各国の減塩政策の費用対効果の評価した研究とレビュー論文<sup>14~22)</sup>が発表され、人口レベルでの減塩政策から費用に見合った効果または医療費削減を期待できることが示されている。

本研究では、日本の栄養政策等による公衆衛生的効果と社会保障費抑制効果の評価手法を開発するための基礎資料として、海外のポピュレーションアプローチに基づく減塩政策に関するシミュレーションモデルを用いた医療経済的評価から得られた知見をまとめた。

## II 研究方法

研究対象は、循環器疾患予防介入の医療経済的評価に関する代表的なシミュレーションモデルに基づき、減塩政策の費用と効果の評価した海外の研究とした。シミュレーションモデルの選択基準としては、ポピュレーションアプローチに基づく循環器疾患予防介入の費用と効果の評価に広く活用されており、固有の名称を持ち確立した代表的なモデルとした。以上の基準により、循環器疾患政策モデル（Cardiovascular Disease Policy Model）、IMPACTモデル（IMPACT Coronary Heart Disease Policy and Prevention Model）、米国IMPACT食料政策モデル（US IMPACT Food Policy Model）、CVD-PREDICT（Cardiovascular Disease Policy Model for Risk, Events, Detection, Interventions, Costs, and Trends）、ACEアプローチ（Assessing Cost-Effectiveness [ACE] approach to priority-setting）およびPRISM（Prevention Impacts Simulation Model）を抽出した。なお、他のシミュレーションモデルとしてニュージーランドのBODE<sup>3</sup>（Burden of Disease Epidemiology, Equity & Cost-Effectiveness Programme）<sup>23)</sup>が挙げられるが、豪州のACEアプローチを踏襲しているため本研究では対象としなかった。

それぞれのシミュレーションモデルについて、ポピュレーションアプローチに基づく国レベルでの減塩政策を含む栄養政策の費用と効果の評価を行った応用研究の原著論文を収集した。ACEアプローチについては報告書<sup>24~26)</sup>から関連文献を特定した。他のモデルについてはPubMedで検索し、検索対象期間を2000年1月から2020年12月とした。各シミュレーションモデルに応じた検索式を作成した（表1）。IMPACTモデルでは、検索を絞り込むため代表的な著者名を検索式に含めた。米国IMPACT食料政策モデルについては、IMPACTモデルに含めて検索した。文献の採用基準としては、①原著論文であること、②当該シミュレーションモデルを使用していること、③効果だけではなく費用も推定していること、④栄養政策介入を検討していることとした。栄養政策全般での文献の数を把握した後、減塩政策に関する文献に限定して各シミュレーションモデルの概要、構造および応用研究の内容を概括した。

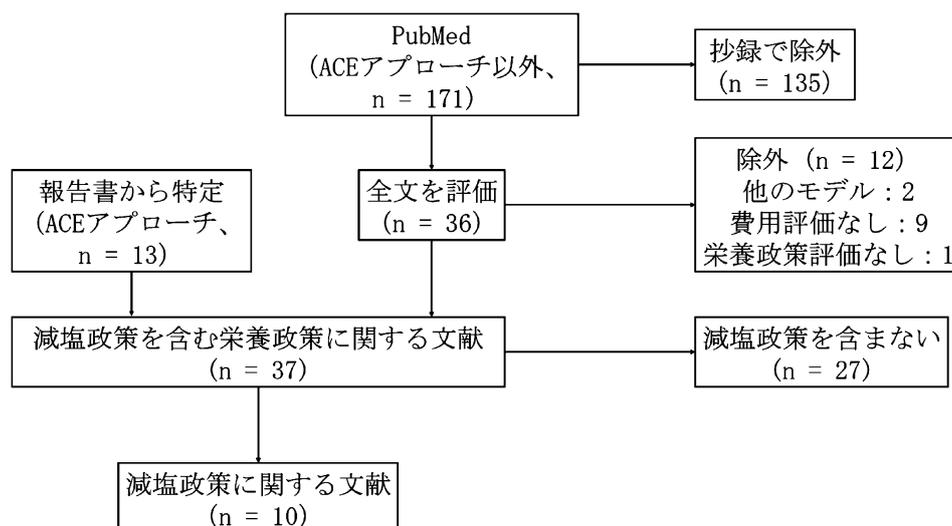
なお、本研究は先行研究の公表データに基づくものであり、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の適用対象外である。

表1 シミュレーションモデルによる栄養政策の費用と効果の評価に関する文献のPubMed検索式

モデル名, 検索式
循環器疾患政策モデル “coronary heart disease policy model” [All Fields] OR “cardiovascular disease policy model” [All Fields] OR “chd policy model” [All Fields] OR “cvd policy model” [All Fields]
IMPACT モデル (“coronary heart disease” [All Fields] OR “cardiovascular disease” [All Fields] OR “chd” [All Fields] OR “cvd” [All Fields]) AND (“model” [All Fields] OR “models” [All Fields] OR “modeled” [All Fields] OR “modeling” [All Fields] OR “modelings” [All Fields] OR “modelled” [All Fields] OR “modelling” [All Fields] OR “modellings” [All Fields] OR “models” [All Fields]) AND capewell, s [Author]
CVD-PREDICT (“cvd” [All Fields] AND “predict” [All Fields] AND (“cost benefit analysis” [MeSH Terms] OR (“cost benefit” [All Fields] AND “analysis” [All Fields]) OR “cost benefit analysis” [All Fields] OR (“cost” [All Fields] AND “effectiveness” [All Fields]) OR “cost effectiveness” [All Fields]) AND (“microsimulation” [All Fields] OR “microsimulations” [All Fields]))
Prevention Impacts Simulation Model “prevention impact simulation model”

CVD-PREDICT, Cardiovascular Disease Policy Model for Risk, Events, Detection, Interventions, Costs, and Trends.

図1 文献検索フローチャート



### Ⅲ 研究結果

#### 1. 検索結果

図1に文献検索フローチャートを示す。ACEアプローチの報告書から13件の文献が特定された。他のシミュレーションモデルに関するPubMed検索結果合計171件のうち、抄録で135件を除外した後(原著論文ではない9件を含む)、全文を確認して12件を除外した。減塩政策を含む栄養政策の費用と効果を評価した文献37件の内訳は、循環器疾患政策モデル6件<sup>27~32)</sup>、IMPACTモデル5件<sup>33~37)</sup>、米国IMPACT食料政策モデル3件<sup>38~40)</sup>、CVD-PREDICT5件<sup>41~45)</sup>、ACEアプローチ13件<sup>46~58)</sup>、

PRISM5件<sup>59~63)</sup>であった。減塩政策に関する文献10件の内訳は、循環器疾患モデル2件<sup>28,32)</sup>、IMPACTモデル3件<sup>33,34,36)</sup>、米国IMPACT食料政策モデル2件<sup>38,39)</sup>、ACEアプローチ1件<sup>48)</sup>、PRISM2件<sup>59,60)</sup>であった。各シミュレーションモデルの特徴と文献数を表2にまとめた。CVD-PREDICTについては減塩政策に関する文献がなかったため、以下の検討から除外した。

#### 2. 循環器疾患政策モデル

##### 1) 概要

循環器疾患政策モデルは、米国の35歳以上人口における循環器疾患の発生率、有病率、死亡率および費用に関するマルコフモデルによるコホートシミュ

表2 栄養政策による循環器疾患予防の費用と効果に関するシミュレーションモデルの特徴および文献数

モデル名	モデル構造	減塩を含む文献数(栄養政策全体の文献数)	対象人口	シミュレーション期間	主なアウトカム指標
循環器疾患政策モデル	マルコフコホート	2(6)	米国, 中国, メキシコ	10年	質調整生存年
IMPACT モデル	表計算, マイクロシミュレーション	3(5)	英国, 東地中海4か国	5~10年(表計算), 15年(マイクロシミュレーション)	獲得生存年
米国 IMPACT 食料政策モデル	マイクロシミュレーション	2(3)	米国	20年	質調整生存年
CVD-PREDICT	マイクロシミュレーション	0(5)	米国	5~20年, 生涯	質調整生存年
ACE アプローチ	比例多相生命表, マルコフ	1(13)	豪州	生涯	障害調整生存年, 健康調整生存年
PRISM	システムダイナミクス	2(5)	米国	10~40年(2040年まで)	死亡, 損失生存年

ACE, Assessing Cost-Effectiveness; CVD-PREDICT, Cardiovascular Disease Policy Model for Risk, Events, Detection, Interventions, Costs, and Trends; PRISM, Prevention Impacts Simulation Model.

レーションで、1980年代にハーバード大学のMilton Weinstein教授らにより開発された<sup>64)</sup>。30年以上にわたり、循環器疾患の疫学的推移や予防治療介入の効果に関する検討に活用されてきた。当初は米国人口を代表するモデルとして作成されたが、近年はメキシコや中国といった他の国々の人口にも適用されている。現在は、カリフォルニア大学サンフランシスコ校のKirsten Bibbins-Domingo教授とコロンビア大学のLee Goldman教授らが中心となり、モデルの応用研究を進めている。

## 2) モデルの構造

モデルは、人口疫学、急性期および慢性期の三つのサブモデルで構成されている(原文ではdemographic-epidemiologic, bridge, and disease history submodels<sup>64)</sup>)。毎年、35歳人口がモデルに参入し、循環器疾患の既往がない集団は人口疫学サブモデル、既往がある集団は慢性期サブモデルへ分類される。人口疫学サブモデルでは、循環器疾患の既往のない集団における循環器疾患発症率および循環器疾患以外の死因による死亡率が予測される。人口疫学サブモデルへ分類された集団は、性別、年齢、血圧、糖尿病等のリスクにより定義された各状態に割り振られ、一年周期でリスクの変化に伴い各状態間を遷移し、循環器疾患を発症すると急性期サブモデルへ遷移する。急性期サブモデルでは、初発のイベントを狭心症、心筋梗塞、心不全、脳卒中に分類して30日間の後遺症を記録し、生き延びた集団は慢性期サブモデルへ遷移する。慢性期サブモデルでは、慢性期患者を性別、年齢、狭心症、心筋梗塞、心不全、脳卒中および血行再建術の有無によって定義さ

れた状態に割り振り、循環器疾患の再発率と死亡率、循環器疾患以外の死因による死亡率を予測する。循環器疾患以外の死因で死亡または85歳まで生存した集団はモデルから退出する。減塩政策の効果については、血圧の低下を通じて循環器疾患発症率および全死因による死亡率が低下する過程として考慮されている。

## 3) 応用研究

循環器疾患政策モデルを用いて米国<sup>28)</sup>と中国<sup>32)</sup>の減塩政策が検討されたが、本稿ではBibbins-Domingoらによる米国の応用研究<sup>28)</sup>を取り上げる。この応用研究の背景として、米国における2005~2006年時点の1日当たり食塩摂取量平均値は男性10.4g、女性7.3gで、政府機関の推奨値である5.8gを大きく上回っていた。そこで2010年からの10年間で達成可能な適度な減塩目標として、1日当たり食塩摂取量が3g低下した場合の費用と効果を推定した。その結果、年間で新規発症減少数は冠動脈疾患60,000~120,000件、脳卒中32,000~66,000件、心筋梗塞54,000~99,000件で、全死亡減少数は44,000~92,000件、質調整生存年(quality-adjusted life years, QALYs)の増加数は194,000~392,000 QALYsと推定された。これらの効果は、喫煙や肥満といった他の危険因子への介入の効果と同等以上であった。また、保健セクターの視点から推定された医療費は100億~240億米ドル低下し、米国人の食塩摂取量の75%以上を占める加工食品中の食塩量を低減するための規制的措置にかかる費用を連邦政府が負担しても、それ以上の医療費抑制効果が得られる可能性が示された。

### 3. IMPACT モデル

#### 1) 概要

IMPACT モデルは、20世紀後半の西洋諸国における冠動脈疾患死亡率の低下要因を検討するため、1990年代に英国リバプール大学の Simon Capewell 教授らによって開発された<sup>65)</sup>。当初は過去の死亡率の変化を治療や危険因子等の変化で説明する後ろ向きのモデルで、日本<sup>66)</sup>や米国<sup>67)</sup>を含む20か国以上での死亡率の分析に応用された。さらに前向きなモデルに拡張され、5~10年の比較的短い期間ではあるが介入による将来の変化を予測可能になった。次節の米国 IMPACT 食料政策モデルを含めて、リバプール大学公衆衛生学研究所公衆衛生政策部門 (Department of Public Health and Policy, Institute of Population Health Sciences) の研究チームが、国内外の研究者らと協力して IMPACT モデルの拡張と応用研究を継続して行っている。IMPACT モデルは確定的な表計算に基づくモデル (deterministic cell-based model) として開発されたが、近年は IMPACT<sub>NCD</sub> モデルや IMPACT 食料政策モデルといったマイクロシミュレーションモデルが主流となりつつあり、米国でも応用されている<sup>68)</sup>。本節では表計算モデルを示し、マイクロシミュレーションモデルについては次節の米国 IMPACT 食料政策モデルで説明する。

#### 2) モデルの構造

確定的な表計算に基づく IMPACT モデルでは、既存の大規模メタ解析や無作為化臨床試験から得られた疫学情報を利用して、2時点の間での危険因子や治療の変化が循環器疾患死亡へ及ぼす寄与を推定する。減塩政策による介入の場合は、平均食塩摂取量の低下分を平均血圧の低下分に変換し、血圧と循環器疾患死亡率の関連を示す回帰係数およびベースライン時の循環器疾患死亡率が続いた場合に期待される最終年の循環器疾患死亡数から、減塩により予防または延期された死亡数 (deaths prevented or postponed) を計算する。さらに、予防または延期された死亡数に生存年の中央値を乗じて、獲得生存年数 (life-years gained) を計算する。

#### 3) 応用研究

表計算による IMPACT モデルを用いた減塩政策の費用と効果の検討は、イングランド<sup>33)</sup>と東地中海4か国 (チュニジア, シリア, パレスチナ, トルコ)<sup>34)</sup>で行われたが、本稿では Collins らによるイングランドの応用研究<sup>33)</sup>を取り上げる。この応用研究の背景として、2003年から行われた減塩政策により、イングランドの1日当たり平均食塩摂取量は2000~2001年の9.5 g から2011年の8.1 g まで15%減

少したが、推奨される6gを依然として上回っていた。そこで、2010年から10年間における減塩政策の費用対効果を社会的視点から推定した。検討された政策は、実施中の3つの減塩政策 (食事と身体活動に関する健康増進キャンペーン, 容器包装前面の交通信号方式による食塩量表示, 食品業界による自主的な加工食品中の食塩量低減) と、未実施の加工食品中の食塩量低減の義務化の4つであった。その結果、10年間でいずれの介入手段も生存年数の延長と医療費の削減を達成できるが、とくに加工食品中の食塩量低減の義務化により最も大きな生存年数の延長と医療費の削減を得られる可能性が示された。健康増進キャンペーンと栄養成分表示については、加工食品中の食塩量低減に関する2つの介入に比べて効果は小さいが医療費の削減が期待されるため、減塩に関する包括的戦略の部分的な構成要素として活用する余地があることが示唆された。

### 4. 米国 IMPACT 食料政策モデル

#### 1) 概要

米国 IMPACT 食料政策モデルは、IMPACT モデルから派生したマイクロシミュレーションモデルで、米国における食塩、果物・野菜、砂糖等に関する食料政策の費用と効果を評価するために開発された。米国国立衛生研究所からの支援を受けた「食料政策レビューと介入の費用対効果に関するプロジェクト (Food Policy Review and Intervention Cost-Effectiveness, Food-PRICE)」の一環として、前述のリバプール大学の Simon Capewell 教授やタフツ大学フリードマン栄養科学政策大学院の Dariush Mozaffarian 教授らが中心となり、このモデルを用いた検討を行っている。

#### 2) モデルの構造

米国 IMPACT 食料政策モデルは、現実に近い合成人口 (synthetic population) における個人 (synthetic individuals) の生涯を種々の政策シナリオの下でシミュレーションする離散時間確率的動的マイクロシミュレーションモデル (discrete-time stochastic dynamic microsimulation model) である。まず、人口予測から得られた性、年齢、人種・民族に関する情報に基づき、介入なしのシナリオの下で30~84歳の個人の生涯についてシミュレーションを行い、食塩摂取や血圧などの危険因子、初発の循環器疾患、予防または延期された死亡数、質調整生存年、費用、循環器疾患とその他の死因による死亡を記録する。次に、介入シナリオの下で同じ個人の生涯についてシミュレーションと同様の記録を行う。シミュレーションが年1回の離散的な時間ステップを進むにつれて、循環器疾患の発症率や死亡率と

いった一連の確率的な規則が個人に適用される。死亡またはシミュレーションの終了までこの過程を繰り返し、人口における疾患の費用と質調整生存年を推定する。

### 3) 応用研究

米国の減塩政策に関する応用研究では、2016年に米国食品医薬品局 (Food and Drug Administration, FDA) が意見公募のために公表した食品業界向けの指針案が検討された。このFDAによる指針案では、155種類の市販の加工・調理済み食品別に、食品業界が自主的に食塩量の削減に取り組むための短期 (2年間) と長期 (10年間) の目標値が提案された。そこで Pearson-Stuttard らは、最適シナリオ (すべての食品で短期と長期の目標値を順守)、中程度シナリオ (50%の食品で短期と長期の目標値を順守) および悲観的シナリオ (すべての食品で短期の目標値のみを順守) の3つを設定し、米国30~84歳人口における2017~2036年の20年間の費用対効果を社会的視点から推定した<sup>38)</sup>。その結果、いずれのシナリオも費用対効果があり、最適シナリオと中程度シナリオは効果の増大と費用の削減の双方が期待できるとともに、最適シナリオの費用対効果が最も高かった。なお、最適シナリオでは食品業界が負担する費用は10年間で160億ドルに上ると推定されたが、食品システムとその従業者の視点から行われた追加的分析によると、それを上回る効果と医療費の削減が得られることが示された<sup>39)</sup>。

なお、同様のマイクロシミュレーションモデルである IMPACT<sub>NCD</sub> モデルの応用例として、英国で2011年から2017年まで公衆衛生責任協定 (Public Health Responsibility Deal) の下で食品産業に食塩摂取量目標の設定と監視への裁量が付与されたことによる2025年までの費用と効果が検討された<sup>36)</sup>。

## 5. ACE アプローチ

### 1) 概要

豪州では、2000年に開始した ACE アプローチの一環として、がん (ACE-Cancer, 2000~2001年)、心疾患 (ACE-Heart Disease, 2000~2003年)、メンタルヘルス (ACE-Mental Health, 2001~2004年)、未成年の肥満 (ACE-Obesity, 2004~2005年)、予防 (ACE-Prevention, 2005~2009年) および肥満政策 (ACE-Obesity Policy, 2012~2018年) に関する研究が行われた<sup>24,25,69)</sup>。成人を対象とする栄養政策的介入は、ACE-Prevention と ACE-Obesity Policy で検討された。とくに減塩政策が検討された ACE-Prevention では、国立健康医学研究カOUNCIL (National Health and Medical Research Council) からの競争的資金を受けて、クイーンズランド大学

疾病負担・費用対効果研究センター (Centre for Burden of Disease and Cost-Effectiveness, the University of Queensland) の Theo Vos 教授とディーキン大学医療経済学研究グループ (Deakin Health Economics, Deakin University) の Rob Carter 教授らが中心となり研究を行った。

### 2) モデルの構造

ACE-Prevention では、非感染性疾患予防のための150種類の介入手段について、費用対効果の包括的評価に基づく優先順位付けが行われた。シミュレーションモデルには、介入手段の種類によってマルコフモデル、比例多相生命表 (proportional multi-state life tables) またはマイクロシミュレーションが用いられた<sup>24)</sup>。減塩介入については比例多相生命表分析が採用され、2003年の豪州30歳以上人口の性・年齢階級コホート別のシミュレーションを死亡または100歳に達するまで行った<sup>48)</sup>。血圧低下を介して生命表上で循環器疾患の発症率、有病率、死亡率および獲得生存年数を推定した。さらに、獲得生存年数を豪州疾病負担研究から得られた障害係数 (disability weights) で重みづけし、避けられた障害調整生存年 (disability-adjusted life year, DALY) を計算した。

### 3) 応用研究

減塩政策として、①豪州国立心臓財団 (National Heart Foundation of Australia) が実施したティック・プログラムにおける食品業界へのインセンティブの付与による市販加工食品中の食塩量の自主的な削減、②市販加工食品中の食塩量制限の義務化、③収縮期血圧115 mmHg以上の者を対象とした食事指導、④収縮期血圧140 mmHg以上の者を対象とした食事指導が検討された。ここでの加工食品とは、パン、マーガリンおよびシリアルを指している。保健セクターの視点から費用対効果を評価した結果、食事指導に関する二つの介入手段の費用対効果は低かったが、市販加工食品中の食塩量削減に関する二つの介入手段の費用対効果は高かった。ただし、自主規制よりも義務化による介入のほうが、効果は20倍も高かった<sup>48)</sup>。さらに150種類の介入手段全体で費用対効果を比較した結果、加工食品中の食塩量の制限の義務化は、たばこ、酒および不健康な食品への課税等と並んで最も費用対効果の高い介入手段の一つであることが示された<sup>24)</sup>。

## 6. PRISM

### 1) 概要

PRISM は、循環器疾患の予防と管理に関するシステム・ダイナミクスシミュレーションモデルである。米国政府機関における循環器疾患予防管理の計

画と評価を支援するため、2007年から疾病管理予防センター（Centers for Disease Control and Prevention）と国立心肺血液研究所（National Heart, Lung, and Blood Institute）からの援助を受けて、コンサルタントの Jack Homer 博士らが開発した<sup>70)</sup>。PRISMの基盤となっているシステム・ダイナミクスは、1950年代後半にマサチューセッツ工科大学の Jay W Forrester 教授によって開発されたシミュレーション手法である<sup>71)</sup>。社会の各要素が互いに影響しあう複雑な因果経路の動的な変化について、ストック変数、フロー変数、遅れ、非線形性、フィードバック・ループ等を用いることにより、分析対象課題をシステム全体でマクロ的に俯瞰したシミュレーションが行われる。

#### 2) モデルの構造

システム・ダイナミクスモデルは、連続的に変化するシステムの状態を微分方程式と差分方程式を用いて微小な時間単位で更新する連続型のシミュレーションモデルである。PRISMでは、米国2歳以上人口について1990年から四半期ごとに2040年までのシミュレーションを行うことが可能で、喫煙、栄養、身体活動といった11分野における51種類の介入手段を対象としている<sup>70)</sup>。減塩政策に関する介入手段として、規制による加工食品中の食塩量制限が栄養分野に含まれている。PRISMは確定的なモデルで、危険因子や循環器疾患の既往の有無等により分類された人口集団のストックで構成される。人口集団は、18歳になると循環器疾患の既往の有無によって二つに分類される。さらに減塩に関連して、血圧水準によって正常血圧、前高血圧、高血圧の三つに分類される。食塩摂取と高血圧に関するストックフロー図では、減塩による平均食塩摂取量の低下から、非高血圧患者における高血圧発症率の低下および高血圧患者における血圧管理率の上昇を通じて、循環器疾患リスクが低下するメカニズムがモデル化されている。

#### 3) 応用研究

Hirschらは、循環器疾患リスクを低下させるための介入手段を臨床、行動支援、健康増進・アクセスおよび課税・規制の4種類に分類し、2010年から2040年までの費用と効果を検討した。その結果、全体で死亡率は31%、費用は18%低下するが、4種類の介入のうち加工食品中の食塩量削減を含む課税・規制については、死亡率15%、費用14%で最も低下が大きいと推定された<sup>59)</sup>。また、Homerらは介入手段を保健医療（臨床、行動、精神）、空気（喫煙、二次喫煙、空気汚染）および生活習慣（栄養と身体活動）の3つの政策分野に分類し、2012年から2040

年までの費用と効果を推定した。その結果、3つの政策分野全体で循環器疾患死亡率は51%低下、費用は16%低下し、減塩を含む11種類の生活習慣に関する介入手段によって死亡率は11%、費用は9%低下することが示された<sup>60)</sup>。ただし、いずれの応用研究も減塩政策を他の介入手段とグループ化して評価を行っており、今後は個別の介入手段について費用と効果を推定することが期待される。

## IV 考 察

本稿では、日本の栄養政策等による公衆衛生的効果および社会保障費抑制効果の評価手法の開発に資する基礎資料を示すため、海外の減塩政策の医療経済的評価について、代表的なシミュレーションモデルと応用研究の概要を紹介した。モデルとして、豪州、英国または米国で循環器疾患予防の政策的介入を評価するために開発された循環器疾患政策モデル、IMPACTモデル、米国IMPACT食料政策モデル、ACEアプローチおよびPRISMを取り上げた。モデルの構造としては、マルコフ・コホートシミュレーション、マイクロシミュレーション、比例多相生命表、システム・ダイナミクスに基づき、減塩政策による食塩摂取量の低下から血圧の低下を通じて循環器疾患予防に至る過程が組み込まれていた。これらのモデルを応用した研究では、健康増進キャンペーン、食品包装の栄養成分表示、加工食品中の食塩量低減への事業者による自主的取り組みまたは義務化といったポピュレーションアプローチによる減塩政策の費用と効果について、10~30年または生涯にわたる長期のシミュレーションが行われた。これらのシミュレーション結果が実際に国の減塩政策を動かしたことを記す資料は入手できていないが、学術論文、報告書およびメディアを通じて社会に還元されることにより、減塩政策を医療経済的視点から検討することの重要性について国民の意識向上に寄与したと考えられる。

本稿で紹介した先進国の応用研究例では、とくに加工食品に含まれる食塩量の低減を中心に、費用対効果または医療費抑制効果が得られることが示された。もう一つの食塩摂取源である自宅での調理や食卓での味付けなど個人の裁量で摂取する食塩量（discretionary salt intake）が食塩摂取量に占める割合は、一人当たり国内総生産と負の関係にあることが示されている<sup>72)</sup>。アジアの高所得国である日本はブルネイとともに例外で、中国、インド、グアテマラといった低中所得国とともに個人裁量の摂取量が食塩摂取量の半分以上を占める<sup>72)</sup>。しかし、日本の若年層では加工食品や外食からの食塩摂取割合が他

の年齢層に比べて高く、今後、ポピュレーションアプローチに基づき加工食品や飲食店で提供される食事の減塩を進めることがますます重要になる可能性が示唆されている<sup>73)</sup>。また、栄養成分表示の義務化を除いて、日本の減塩政策は目標値等により企業や個人の自主的な取り組みに委ねる緩やかな性格のものが主体となっている。IMPACTモデルによるイングランド等の研究においても、健康増進キャンペーンや食品業界の自主的取り組みが検討されている。このように、本稿で紹介した欧米等の先進国における応用研究例は、日本の減塩政策の評価手法を開発する際に有用である。

公衆衛生分野のシミュレーションモデルを活用した研究は、わが国でもすでにいくつか実施されているが<sup>66,74,75)</sup>、まだ低調である。公衆衛生介入研究 (public health intervention research, PHIR) では、計画、実施、社会実装の各段階でシミュレーションモデルが有用<sup>76)</sup>であり、倫理的あるいは予算的に介入研究が困難な場合にも応用が可能である。本研究で示す海外の現状を参考に、今後わが国の公衆衛生研究においてシミュレーションモデルを活用した研究が発展することが望まれる。日本の減塩政策による公衆衛生的効果と社会保障費抑制効果に対する医療経済的評価手法の将来的方向性として、国内の食塩摂取量と高血圧、循環器疾患の発症と死亡といった公衆衛生データに本稿で紹介されたモデルを適用し、日本独自のモデルに調整してシミュレーションを行い、政策に反映させることが重要であると考えられる。

国際的には、循環器疾患とその要因となる高血圧が増加している現状から、2000年になって減塩が「健康な食事」の実現に向けた効果的な介入として世界保健機関を中心に議論され始めたが、食塩摂取の削減目標値として5gが提示されたのも2012年と比較的新しい<sup>7)</sup>。同時期に世界の非感染性疾患への対応をモニタリングするため、加盟国がとるべき政策オプションとして9つの国際的な努力目標を示し、そのうち4つ目の目標に「塩/ナトリウムの人口平均摂取量の30%を相対的削減する」が掲げられ、2025年までに達成することとしている<sup>77)</sup>。また世界保健機関は、この目標達成のためにはポピュレーションアプローチの減塩政策において、強力な政府のリーダーシップ、明確な目標とタイムライン、および積極的なモニタリングと報告が必要であり、食品産業の協力が欠かせないと述べている<sup>78)</sup>。このように、ポピュレーションアプローチによる減塩政策を必要とするのはもはや高所得国だけではなく、経済発展とともに食生活が変化して加工食品が多く

流通するようになった低中所得国も同様である。とくに、医療資源が限られている低中所得国における非感染性疾患の対策としては、高度な治療よりも予防と管理が重要視されており、費用効果分析によって1 DALY 当たり100ドル以下である「ベストバイ (値ごろ感のある介入)」として、ポピュレーションアプローチによる減塩政策 (食品に含まれる食塩量の削減、公的集団施設における減塩介入、マスメディア、食品ラベルの4つ) が挙げられている<sup>79)</sup>。これらから、わが国における取り組みの検証が行われ、食生活が比較的類似しているアジア地域への応用・展開に資することが期待される。

ところで、本稿で紹介したモデルの主眼は将来の費用と効果のシミュレーションであるが、過去の栄養政策が日本人の平均寿命等の健康指標を改善し、医療費の抑制にも貢献したかどうかについて検証するためのモデルとしては、IMPACTモデルとPRISMが参考になるかもしれない。IMPACTモデルは、もともと循環器疾患死亡率の推移への治療と危険因子の変化の寄与を検討するために開発された。日本の応用研究から、1980年から2012年までの日本人の冠動脈疾患死亡率の低下分のうち、56%は内科・外科療法、35%は危険因子の変化 (24%は収縮期血圧の低下、11%は喫煙率の低下) に起因することが示された<sup>66)</sup>。PRISMの母体であるシステム・ダイナミクスのシミュレーション手法を用いる場合は、たとえば著者らが現在厚生労働科学研究費補助金により取り組んでいる、食塩摂取量について反事実的なシナリオを設定し、後ろ向きのシミュレーションを行って実際の平均寿命等の推移と比較することで減塩政策の効果を近似する可能性が考えられる。

本研究の限界として、代表的なモデルによる研究のみを対象としたため、他のモデルによる研究を紹介しなかった点が挙げられる。たとえば、欧米等で行われた政府のキャンペーンや塩税、自発的な食塩量のラベリングの効果に関する検討<sup>80,81)</sup>や、英国の政策を参考に減塩効果を経済面で国際比較した研究<sup>82)</sup>は、本資料で取り上げなかった評価モデルを用いたものの、減塩効果を評価した研究として重要である。

## V 結 語

海外では減塩政策による循環器疾患予防の費用と効果について、シミュレーションモデルによる医療経済的評価から得た国レベルの科学的根拠を発信している。日本の今後の方向性として、実際に国内の公衆衛生データを用いて先行研究と同様のシミュ

レーション分析を実施し、海外のパラメータと比較して方法論的な妥当性を確認する必要がある。そして日本独自のシミュレーションモデルを開発し、栄養政策の立案・評価を行うことが期待される。

本研究は、令和2年度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」19FA1004（研究代表者：西 信雄）の一環として実施した。

開示すべきCOI状態はない。

{	受付	2020.12.24
	採用	2021. 5. 7
	J-STAGE早期公開	2021. 7.15

## 文 献

- 厚生労働省. 令和元年(2019)人口動態統計(確定数)の概況. 2020年. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei19/index.html> (2020年11月10日アクセス可能).
- 厚生労働省政策統括官(統計・情報政策, 政策評価担当)(編集). 平成29年度国民医療費. 東京: 一般財団法人厚生労働統計協会. 2020年.
- GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* 2020; 396: 1223–1249.
- Powles J, Fahimi S, Micha R, et al. Global, regional and national sodium intakes in 1990 and 2010: a systematic analysis of 24 h urinary sodium excretion and dietary surveys worldwide. *BMJ Open* 2013; 3: e003733.
- Saito A, Imai S, Htun NC, et al. The trends in total energy, macronutrients and sodium intake among Japanese: findings from the 1995–2016 National Health and Nutrition Survey. *Br J Nutr* 2018; 120: 424–434.
- 厚生労働省. 令和元年国民健康・栄養調査結果の概要. 2020年. [https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_14156.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_14156.html) (2020年12月9日アクセス可能).
- World Health Organization. Guideline: sodium intake for adults and children. Geneva: World Health Organization. 2012.
- 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会. 「健康日本21(第二次)」中間評価報告書. 2018年. <https://www.mhlw.go.jp/content/000378318.pdf> (2020年11月10日アクセス可能).
- 伊藤貞嘉, 佐々木敏(監修). 日本人の食事摂取基準(2020年版). 東京: 第一出版株式会社. 2020年.
- 食品表示法(平成25年法律第70号). [https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws\\_search/lsg0500/detail?lawId=425AC0000000070](https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=425AC0000000070) (2020年11月10日アクセス可能).
- 小島美世, 小川佳子, 中川圭子, 他. 新潟県における成果の見える減塩対策—「にいがた減塩ルネサンス運動」10年間の取組とその成果—. *栄養学雑誌* 2020; 78: 232–242.
- Murray CJ, Lauer JA, Hutubessy RC, et al. Effectiveness and costs of interventions to lower systolic blood pressure and cholesterol: a global and regional analysis on reduction of cardiovascular-disease risk. *Lancet* 2003; 361: 717–725.
- Asaria P, Chisholm D, Mathers C, et al. Chronic disease prevention: health effects and financial costs of strategies to reduce salt intake and control tobacco use. *Lancet* 2007; 370: 2044–2053.
- Wang G, Labarthe D. The cost-effectiveness of interventions designed to reduce sodium intake. *J Hypertens* 2011; 29: 1693–1699.
- Wang G, Bowman BA. Recent economic evaluations of interventions to prevent cardiovascular disease by reducing sodium intake. *Curr Atheroscler Rep* 2013; 15: 349.
- Hyseni L, Elliot-Green A, Lloyd-Williams F, et al. Systematic review of dietary salt reduction policies: evidence for an effectiveness hierarchy? *PLoS One* 2017; 12: e0177535.
- Hope SF, Webster J, Trieu K, et al. A systematic review of economic evaluations of population-based sodium reduction interventions. *PLoS One* 2017; 12: e0173600.
- Schorling E, Niebuhr D, Kroke A. Cost-effectiveness of salt reduction to prevent hypertension and CVD: a systematic review. *Public Health Nutr* 2017; 20: 1993–2003.
- Aminde LN, Takah NF, Zapata-Diomed B, et al. Primary and secondary prevention interventions for cardiovascular disease in low-income and middle-income countries: a systematic review of economic evaluations. *Cost Eff Resour Alloc* 2018; 16: 22.
- Federici C, Detzel P, Petracca F, et al. The impact of food reformulation on nutrient intakes and health, a systematic review of modelling studies. *BMC Nutr* 2019; 5: 2.
- Dodd R, Santos JA, Tan M, et al. Effectiveness and feasibility of taxing salt and foods high in sodium: a systematic review of the evidence. *Adv Nutr* 2020: nmaa067.
- He FJ, Tan M, Ma Y, et al. Salt reduction to prevent hypertension and cardiovascular disease: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol* 2020; 75: 632–647.
- University of Otago, Wellington. About HRC-funded BODE<sup>3</sup>, 2010–2015. <https://www.otago.ac.nz/wellington/departments/publichealth/research/bode3/objectives/otago615420.html> (2021年3月23日アクセス可能).
- Vos T, Carter R, Barendregt J, et al. Assessing Cost-Effectiveness in Prevention (ACE-Prevention): final report. Melbourne: University of Queensland, Brisbane and Deakin University. 2020. [https://public-health.uq.edu.au/files/571/ACE-Prevention\\_final\\_report.pdf](https://public-health.uq.edu.au/files/571/ACE-Prevention_final_report.pdf) (2020年11月10日アクセス可能).

- 25) Ananthapavan J, Sacks G, Brown V, et al. Assessing cost-effectiveness of obesity prevention policies in Australia 2018 (ACE-Obesity Policy). Melbourne: Deakin University, 2018.
- 26) Ananthapavan J, Sacks G, Brown V, et al. Priority-setting for obesity prevention—the assessing cost-effectiveness of obesity prevention policies in Australia (ACE-Obesity Policy) study. *PLoS ONE* 2020; 15: e0234804.
- 27) Tice JA, Ross E, Coxson PG, et al. Cost-effectiveness of vitamin therapy to lower plasma homocysteine levels for the prevention of coronary heart disease: effect of grain fortification and beyond. *JAMA* 2001; 286: 936–943.
- 28) Bibbins-Domingo K, Chertow GM, Coxson PG, et al. Projected effect of dietary salt reductions on future cardiovascular disease. *N Engl J Med* 2010; 362: 590–599.
- 29) Wang YC, Coxson P, Shen YM, et al. A penny-per-ounce tax on sugar-sweetened beverages would cut health and cost burdens of diabetes. *Health Aff (Millwood)* 2012; 31: 199–207.
- 30) Mekonnen TA, Odden MC, Coxson PG, et al. Health benefits of reducing sugar-sweetened beverage intake in high risk populations of California: results from the cardiovascular disease (CVD) policy model. *PLoS ONE* 2013; 8: e81723.
- 31) Sanchez-Romero LM, Penko J, Coxson PG, et al. Projected impact of Mexico’s sugar-sweetened beverage tax policy on diabetes and cardiovascular disease: a modeling study. *PLoS Med* 2016; 13: e1002158.
- 32) Wang M, Moran AE, Liu J, et al. Projected impact of salt restriction on prevention of cardiovascular disease in China: a modeling study. *PLoS ONE* 2016; 11: e0146820.
- 33) 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.
- 34) Mason H, Shoaibi A, Ghandour R, et al. A cost effectiveness analysis of salt reduction policies to reduce coronary heart disease in four Eastern Mediterranean countries. *PLoS ONE* 2014; 9: e84445.
- 35) Allen K, Pearson-Stuttard J, Hooton W, et al. Potential of trans fats policies to reduce socioeconomic inequalities in mortality from coronary heart disease in England: cost effectiveness modelling study. *BMJ* 2015; 351: h4583.
- 36) Laverty AA, Kypridemos C, Seferidi P, et al. Quantifying the impact of the Public Health Responsibility Deal on salt intake, cardiovascular disease and gastric cancer burdens: interrupted time series and microsimulation study. *J Epidemiol Community Health* 2019; 73: 881–887.
- 37) Pearson-Stuttard J, Hooton W, Critchley J, et al. Cost-effectiveness analysis of eliminating industrial and all trans fats in England and Wales: modelling study. *J Public Health (Oxf)* 2017; 39: 574–582.
- 38) Pearson-Stuttard J, Kypridemos C, Collins B, et al. Estimating the health and economic effects of the proposed US Food and Drug Administration voluntary sodium reformulation: microsimulation cost-effectiveness analysis. *PLoS Med* 2018; 15: e1002551.
- 39) Collins B, Kypridemos C, Pearson-Stuttard J, et al. FDA sodium reduction targets and the food industry: are there incentives to reformulate? Microsimulation cost-effectiveness analysis. *Milbank Q* 2019; 97: 858–880.
- 40) Huang Y, Kypridemos C, Liu J, et al. Cost-effectiveness of the US Food and Drug Administration added sugar labeling policy for improving diet and health. *Circulation* 2019; 139: 2613–2624.
- 41) Mozaffarian D, Liu J, Sy S, et al. Cost-effectiveness of financial incentives and disincentives for improving food purchases and health through the US Supplemental Nutrition Assistance Program (SNAP): a microsimulation study. *PLoS Med* 2018; 15: e1002661.
- 42) Lee Y, Mozaffarian D, Sy S, et al. Cost-effectiveness of financial incentives for improving diet and health through Medicare and Medicaid: a microsimulation study. *PLoS Med* 2019; 16: e1002761.
- 43) Wilde P, Huang Y, Sy S, et al. Cost-effectiveness of a US national sugar-sweetened beverage tax with a multistakeholder approach: who pays and who benefits. *Am J Public Health* 2019; 109: 276–284.
- 44) Lee Y, Mozaffarian D, Sy S, et al. Health impact and cost-effectiveness of volume, tiered, and absolute sugar content sugar-sweetened beverage tax policies in the United States: a microsimulation study. *Circulation* 2020; 142: 523–534.
- 45) Liu J, Mozaffarian D, Sy S, et al. Health and economic impacts of the national menu calorie labeling law in the United States: a microsimulation study. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2020; 13: e006313.
- 46) Bertram MY, Lim SS, Barendregt JJ, et al. Assessing the cost-effectiveness of drug and lifestyle intervention following opportunistic screening for pre-diabetes in primary care. *Diabetologia* 2010; 53: 875–881.
- 47) Cobiac L, Vos T, Veerman L. Cost-effectiveness of Weight Watchers and the Lighten Up to a Healthy Lifestyle program. *Aust N Z J Public Health* 2010; 34: 240–247.
- 48) Cobiac LJ, Vos T, Veerman JL. Cost-effectiveness of interventions to reduce dietary salt intake. *Heart* 2010; 96: 1920–1925.
- 49) Cobiac LJ, Vos T, Veerman JL. Cost-effectiveness of interventions to promote fruit and vegetable consumption. *PLoS ONE* 2010; 5: e14148.
- 50) Forster M, Veerman JL, Barendregt JJ, et al. Cost-effectiveness of diet and exercise interventions to reduce overweight and obesity. *Int J Obes (Lond)* 2011; 35:

- 1071–1078.
- 51) Sacks G, Veerman JL, Moodie M, et al. ‘Traffic-light’ nutrition labelling and ‘junk-food’ tax: a modelled comparison of cost-effectiveness for obesity prevention. *Int J Obes (Lond)* 2011; 35: 1001–1009.
  - 52) Crino M, Herrera AMM, Ananthapavan J, et al. Modelled cost-effectiveness of a package size cap and a kilojoule reduction intervention to reduce energy intake from sugar-sweetened beverages in Australia. *Nutrients* 2017; 9: 983.
  - 53) Lal A, Mantilla-Herrera AM, Veerman L, et al. Modelled health benefits of a sugar-sweetened beverage tax across different socioeconomic groups in Australia: a cost-effectiveness and equity analysis. *PLoS Med* 2017; 14: e1002326.
  - 54) Brown V, Ananthapavan J, Veerman L, et al. The potential cost-effectiveness and equity impacts of restricting television advertising of unhealthy food and beverages to Australian children. *Nutrients* 2018; 10: 622.
  - 55) Mantilla Herrera AM, Crino M, Erskine HE, et al. Cost-effectiveness of product reformulation in response to the health star rating food labelling system in Australia. *Nutrients* 2018; 10: 614.
  - 56) Ananthapavan J, Nguyen PK, Bowe SJ, et al. Cost-effectiveness of community-based childhood obesity prevention interventions in Australia. *Int J Obes (Lond)* 2019; 43: 1102–1112.
  - 57) Huse O, Ananthapavan J, Sacks G, et al. The potential cost-effectiveness of mandatory restrictions on price promotions for sugar-sweetened beverages in Australia. *Int J Obes (Lond)* 2020; 44: 1011–1020.
  - 58) Robinson E, Nguyen P, Jiang H, et al. Increasing the price of alcohol as an obesity prevention measure: the potential cost-effectiveness of introducing a uniform volumetric tax and a minimum floor price on alcohol in Australia. *Nutrients* 2020; 12: 603.
  - 59) Hirsch G, Homer J, Trogon J, et al. Using simulation to compare 4 categories of intervention for reducing cardiovascular disease risks. *Am J Public Health*. 2014; 104: 1187–1195.
  - 60) Homer J, Wile K, Yarnoff B, et al. Using simulation to compare established and emerging interventions to reduce cardiovascular disease risk in the United States. *Prev Chronic Dis* 2014; 11: E195.
  - 61) Honeycutt AA, Wile K, Dove C, et al. Strategic planning for chronic disease prevention in rural America: looking through a PRISM lens. *J Public Health Manag Pract* 2015; 21: 392–399.
  - 62) Soler R, Orenstein D, Honeycutt A, et al. Community-based interventions to decrease obesity and tobacco exposure and reduce health care costs: outcome estimates from communities putting prevention to work for 2010–2020. *Prev Chronic Dis* 2016; 13: E47.
  - 63) Yarnoff B, Bradley C, Honeycutt AA, et al. Estimating the relative impact of clinical and preventive community-based interventions: an example based on the community transformation grant program. *Prev Chronic Dis* 2019; 16: E87.
  - 64) Weinstein MC, Coxson PG, Williams LW, et al. Forecasting coronary heart disease incidence, mortality, and cost: The Coronary Heart Disease Policy Model. *Am J Public Health* 1987; 77: 1417–1426.
  - 65) Capewell S, Morrison C, McMurray J. Contribution of modern cardiovascular treatment and risk factor changes to the decline in coronary heart disease mortality in Scotland between 1975 and 1994. *Heart* 1999; 81: 380–386.
  - 66) Ogata S, Nishimura K, Guzman-Castillo M, et al. Explaining the decline in coronary heart disease mortality rates in Japan: contributions of changes in risk factors and evidence-based treatments between 1980 and 2012. *Int J Cardiol* 2019; 291: 183–188.
  - 67) Ford ES, Ajani UA, Croft JB, et al. Explaining the decrease in U.S. deaths from coronary disease, 1980–2000. *N Engl J Med* 2007; 356: 2388–2398.
  - 68) Institute of Population Health Sciences, University of Liverpool. NCD prevention and food policy research group. <https://www.liverpool.ac.uk/population-health-sciences/departments/public-health-and-policy/research-themes/ncd-prevention-and-food-policy/ncd-modelling/> (2021年3月17日アクセス可能).
  - 69) Carter R, Vos T, Moodie M, et al. Priority setting in health: origins, description and application of the Australian Assessing Cost-Effectiveness initiative. *Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res* 2008; 8: 593–617.
  - 70) Homer J. PRISM: The Prevention Impacts Simulation Model. Reference guide for model version 3q. Research Triangle Park, NC: RTI International. 2015.
  - 71) 西 信雄. システム・ダイナミックスの理論と実際. *日本循環器病予防学会誌* 2013; 48: 23–32.
  - 72) Bhat S, Marklund M, Henry ME, et al. A systematic review of the sources of dietary salt around the world. *Adv Nutr* 2020; 11: 677–686.
  - 73) Asakura K, Uechi K, Masayasu S, et al. Sodium sources in the Japanese diet: difference between generations and sexes. *Public Health Nutr* 2016; 19: 2011–2023.
  - 74) Sugiyama T, Goryoda S, Inoue K, et al. Construction of a simulation model and evaluation of the effect of potential interventions on the incidence of diabetes and initiation of dialysis due to diabetic nephropathy in Japan. *BMC Health Serv Res* 2017; 17: 833.
  - 75) Nishi N, Ikeda N, Sugiyama T, et al. Simulating the impact of long-term care prevention among older Japanese people on healthcare costs from 2020 to 2040 using system dynamics modeling. *Front Public Health* 2020; 8: 592471.
  - 76) Tanuseputro P, Arnason T, Hennessy D, et al.

- Simulation modeling to enhance population health intervention research for chronic disease prevention. *Can J Public Health* 2019; 110: 52–57.
- 77) World Health Organization. Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020. Geneva: World Health Organization. 2013.
- 78) World Health Organization. Policy brief: reducing the use of salt in the food industry to lower sodium consumption. 2014. <https://www.who.int/nmh/ncd-coordination-mechanism/Policybrief34.pdf> (2020年12月14日アクセス可能).
- 79) World Health Organization. ‘Best buys’ and other recommended interventions for the prevention and control of noncommunicable diseases. Updated (2017) appendix 3 of the global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020. 2017. [https://www.who.int/ncds/management/WHO\\_Appendix\\_BestBuys\\_LS.pdf](https://www.who.int/ncds/management/WHO_Appendix_BestBuys_LS.pdf) (2020年12月14日アクセス可能).
- 80) Smith-Spangler CM, Juusola JL, Enns EA, et al. Population strategies to decrease sodium intake and the burden of cardiovascular disease: a cost-effectiveness analysis. *Ann Intern Med* 2010; 152: 481–487.
- 81) Nghiem N, Blakely T, Cobiac LJ, et al. Health and economic impacts of eight different dietary salt reduction interventions. *PLoS One* 2015; 10: e0123915.
- 82) Webb M, Fahimi S, Singh GM, et al. Cost effectiveness of a government supported policy strategy to decrease sodium intake: global analysis across 183 nations. *BMJ* 2017; 356: i6699.
-

## Use of simulation models in health economic evaluation studies of dietary salt-reduction policies for cardiovascular disease prevention

Hiroki KATO\*, Nayu IKEDA\*, Takehiro SUGIYAMA<sup>\*,2\*,3\*,4\*,5\*</sup>,  
Marika NOMURA<sup>\*,6\*</sup>, Katsushi YOSHITA<sup>7\*</sup> and Nobuo NISHI\*

**Key words** : nutritional policy, dietary salt-reduction policy, cardiovascular disease prevention, health economic evaluation, simulation model

**Objectives** Social security costs related to the healthcare and long-term care of patients with cardiovascular diseases is a national burden that is expected to grow as Japan's population ages. Nutritional policies for improving the nation's diet could prevent cardiovascular diseases, but scientific evidence on their costs and outcomes is limited. This study gives an overview of health economic evaluation studies on population-wide dietary salt-reduction policies that have been instituted for the purposes of cardiovascular disease prevention. Thus, this study provides background information for the development of evaluation methods that can be utilized in Japan for analyzing the effects of nutritional policies on public health and social security cost containment.

**Methods** We extracted representative health economic simulation models that are used for predicting the effects of cardiovascular disease-related interventions: Cardiovascular Disease Policy Model, IMPACT Coronary Heart Disease Policy and Prevention Model, US IMPACT Food Policy Model, Assessing Cost-Effectiveness (ACE) approach to priority-setting, and Prevention Impacts Simulation Model (PRISM). Next, we collected original articles on studies that used these models for assessing the costs and effects of national population-wide dietary salt-reduction policies. We then outlined the background, structure, and applied studies associated with each model.

**Results** The five models utilized Markov cohort simulation, microsimulation, proportional multistate life tables, and system dynamics to predict the effect of dietary salt-reduction policies on blood pressure reduction and cardiovascular disease prevention. The models were applied to countries such as Australia, England, and the United States to simulate long-term (10 years to lifetime) costs and effects. These applied studies examined policies that included health promotion campaigns, sodium labels on the front of food packages, and mandatory or voluntary reformulation by the food industry to reduce the salt content of processed foods.

**Conclusion** Health economic simulation modeling is actively being used to evaluate scientific evidence on the costs and outcomes of national dietary salt-reduction policies. Similarly, leveraging simulation modeling techniques could facilitate the evaluation and planning of dietary salt-reduction policies and other nutritional policies in Japan.

---

\* International Center for Nutrition and Information, National Institute of Health and Nutrition, National Institutes of Biomedical Innovation, Health and Nutrition

<sup>2\*</sup> Institute for Global Health Policy Research, Bureau of International Health Cooperation, National Center for Global Health and Medicine

<sup>3\*</sup> Diabetes and Metabolism Information Center, Research Institute, National Center for Global Health and Medicine

<sup>4\*</sup> Department of Health Services Research, Faculty of Medicine, University of Tsukuba

<sup>5\*</sup> Health Services Research & Development Center, University of Tsukuba

<sup>6\*</sup> Department of Human Development, Japan International Cooperation Agency

<sup>7\*</sup> Graduate School of Human Life Science and Nutrition, Osaka City University