

# 国家レベルの減塩に関するシミュレーションモデル

## A Simulation Model of Salt Reduction at a National Level

西 信雄 (Nobuo Nishi)

独立行政法人国立健康・栄養研究所国際産学連携センター  
nmishi@nih.go.jp

**Abstract :** To reduce salt intake of the population, it is important not only to raise people's awareness of the need to reduce salt intake but also to reduce the salt content in food products. This study aimed to develop a simulation model for salt reduction at a national level. The model combined three sets of a pair of stocks and a flow between them. The people's awareness subsystem consisted of stocks of people who are not aware of and who are aware of the need to reduce salt intake and the flow of becoming aware of the need. The people's taste for salt subsystem consisted of stocks of people with strong and weak tastes for salt and a flow of change toward a weak taste for salt. A food product subsystem consisted of stocks of products with high and low salt contents and a flow of change toward low-salt products. To estimate the average salt intake of the population, selections of high-salt food by people with a strong taste for salt and low-salt food by people with a weak taste for salt were provided by look-up functions. To lower the average salt intake of the population, it is crucial that people with a strong taste for salt select products with low salt content earlier.

キーワード：減塩、食塩摂取量、食品、食塩含有量、食品の選択

**要旨：**国民の食塩摂取量を減少させるには、人々が減塩の必要性に気づくだけでなく、食品の食塩含有量を減少させることが重要である。本研究は、国家レベルの減塩のシミュレーションモデルを開発することを目的とした。本モデルでは、一对のストックとその間のフローからなる三つの系を結合させた。減塩の自覚系は、減塩の必要性を自覚していない者と自覚している者の各ストックと必要性を自覚するフローから構成した。塩分の味覚系は、塩分の味覚が濃い者と味覚が薄い者の各ストックと薄味の味覚へのフローから構成した。食品の塩分系は、塩分の濃い食品と薄い食品の各ストックと塩分の薄い食品へのフローから構成した。国民の平均食塩摂取量を推定するため、塩分の味覚が濃い者による塩分の濃い食品の選択および塩分の味覚が薄い者による塩分の薄い食品の選択を表関数で与えた。その結果、国民の平均食塩摂取量を低下させるには、塩分の味覚が濃い者に塩分の薄い食品を早期に選択させることが重要であることが明らかとなった。

### 1. はじめに

#### 1. 1 国家レベルでの減塩の必要性

日本人の食塩摂取量の平均値は近年低下傾向にあるものの、依然として成人で1日当たり10gを超えており(図1) [1]、世界保健機関(WHO)が目標として掲げる5gの約2倍である[2]。日本人の摂取エネルギーの平均値も70歳以上を除くすべての年齢階級で男女とも減少傾向にあるため[3]、日本人の塩分に対する味覚自体には大きな変化は生じていないものと考えられる。今後、食塩摂取量をWHOの目標まで半減するには、エネルギー摂取量を半減することは現実的ではなく、日本人の塩分の味覚を薄味に変化させる必要がある。

食塩の摂取源について日本と英国を比較した研究によると、日本ではしょうゆや調味料としての食塩など、調理中あるいは食卓で加えられる食塩と漬け物や魚など加工食品に含まれる食塩の両者の割合が高く、英国ではパン、シリアル、加工された肉、野菜など加工食品の割合が高い[4]。そのため、英国では2005年に食品基準庁(Food Standard Agency: FSA)が発表した戦略プラン2005-2010において、2010年までに平均食塩摂取

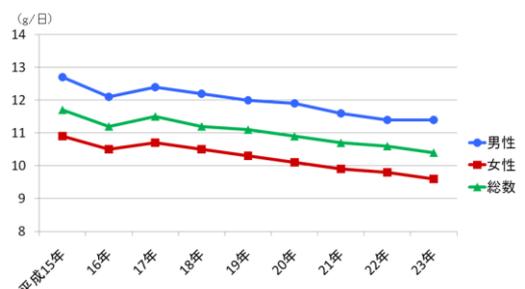


図1 食塩摂取量の平均値(成人1日当たり)の推移(国民健康・栄養調査)

量を1日6gにするため、食卓・調理における食塩と、食品企業が添加する食塩をそれぞれ40%削減する目標が設定され、企業は消費者に味の変化を気づかれないよう1~2年で10~20%を削減することが求められた[5]。日本では、2012年7月に公表され、食塩摂取量については2022年の目標を8gに定めた「21世紀における第二次国民健康づくり運動（健康日本21（第二次））」において、「食品中の食塩や脂肪の低減に取り組む食品企業及び飲食店の登録数の増加」を目標項目の一つに挙げており、社会環境の整備の重要性が強調されている[6]。

国家レベルで人々の平均食塩摂取量を減少させるには、次の3つの対策が総合的に実施される必要がある。

- ①国民（消費者）の啓発
- ②わかりやすい栄養成分表示
- ③加工食品中の食塩含有量の低減

三つ目の加工食品中の食塩含有量の低減では、5年間で25%などと目標を定めて食品中の食塩量の低減を企業に求めるものであるが、これは国民の理解を得て、食品企業が一斉に取り組まなければ効果を上げることができず、減塩に関する国民の啓発、わかりやすい栄養成分表示と組み合わせることで実現可能となる。

本研究は、減塩に関する国民の意識と食品中の塩分、そして両者に関与する国民の塩分の味覚に着目し、食塩摂取量の変化のシミュレーションを行うモデルを開発することを目的とした。

## 1. 2 公衆衛生分野におけるこれまでのシミュレーションモデルの活用

公衆衛生あるいは予防医学の分野において、海外では米国を中心にシステム・ダイナミックスの活用例があるが[7]、日本では研究がほとんど行われていない[8]。

米国CDC（Centers for Disease Control and Prevention）を中心とするグループでは、糖尿病予防や心臓病予防のシミュレーションモデルを開発して、地域での予防プログラムの立案に役立てている[9, 10]。また、ニュージーランドでは、大学と保健省が協力して、喫煙への介入プログラムの評価をシステム・ダイナミックスにより行っている[11, 12]。これらの応用例では、疫学研究の成果がモデルの開発、検証に活用されている。

食塩の摂取過剰は高血圧や胃がんのリスクとなるため、現状の1日当たり10gからさらに摂取量を低下させる必要がある[6]。食塩摂取と疾患の関連については疫学研究の成果があるものの、人々の味覚の変化とともに食品の選択がどのように変化すれば全体の食塩摂取量が低下するかなどの研究は行われておらず、本研究はこのための基礎的な研究に位置づけられる。

## 2. モデルの基本構造

本モデルでは、一対のストックとその間のフローからなる三つの系を結合させた構造を基本としている（図2）。それらを減塩の自覚系、塩分の味覚系、食品の塩分系と呼び、以下に説明する。

### 2. 1 減塩の自覚系

減塩の自覚系は、減塩の必要性を自覚していない者（非自覚者）と自覚している者（自覚者）の各ストックと、減塩の必要性を自覚していない者が必要性を自覚するフロー（減塩の必要性の自覚）を中心に構成した。この系には拡散モデル（diffusion model）を適用し、減塩の必要性の非自覚者と自覚者が接触することにより、フローが変化するようにした。本モデルは国家レベルの減塩に関するものであるが、人口は便宜上全体で10万人とし、減塩の必要性の非自覚者の初期値を80,000人、自覚者の初期値を20,000人とした。

### 2. 2 塩分の味覚系

塩分の味覚系は、塩分の味覚が濃い者（高塩分嗜好者）と味覚が薄い者（低塩分嗜好者）の各ストックと、塩分の味覚が濃い者が薄味になるフロー（嗜好の低塩分化）を中心に構成した。人口は減塩の自覚系と同じ10万人とし、塩分の味覚が濃い者の初期値を95,000人、塩分の味覚が薄い者の初期値を5,000人とした。

減塩の自覚系と塩分の味覚系を別々にしたのは、減塩の必要性の自覚と塩分の味覚の変化は通常同時に起こらず、塩分の味覚の変化が減塩の必要性の自覚に遅れて起こるためである。そのため、減塩の必要性の自覚者のストックから嗜好の低塩分化のフローへは、遅れを示す除数の2を投入した。この除数の2は減塩の必要性を自覚した者の50%に塩分の味覚の変化が起きることを仮定しているが、適当な範囲内を変化させてシミュレーションを行うことが可能である。また、減塩の自覚系から影響を受けるだけでなく、低塩分嗜好者のストックから減塩の必要性の自覚のフローに連結し、減塩の自覚系に影響を及ぼすようにもモデル化した。

### 2. 3 食品の塩分系

食品の塩分系は、塩分の濃い食品（高塩分食品）と薄い食品（低塩分食品）の各ストックと、高塩分食品の塩分が薄くなるフロー（低塩分食品への変更）から構成した。食品数は簡単のため100食品とし、高塩分食品の初期値を90食品、低塩分食品の初期値を10食品とした。

低塩分嗜好者のストックから低塩分食品への変更のフローへは、食品の塩分系と同様に遅れを示す除数の2を投入して連結するとともに、低塩分食品のストックから嗜好の低塩分化のフローに連結し、塩分の味覚系と食品の塩分系が相互に影響を及ぼすモデルとした。

### 2.4 食塩摂取量の推定系

国民の平均食塩摂取量を推定するため、高塩分食品と低塩分食品の平均塩分量および高塩分嗜好者と低塩分嗜好者の食品選択を外生変数として与えた。食品の塩分量は、同じ塩分量の食品を1日間食べた場合に摂取する食塩量と同じとして、高塩分食品の平均塩分量を15g、低塩分食品の平均塩分量を5gとした。高塩分嗜好者の食品選択は高塩分食品の選択について、低塩分嗜好者の食品選択は低塩分食品の選択について、後述する4つのシナリオにもとづき、それぞれ表関数により与えた。

食品全体の平均塩分量は、高塩分食品の食品数と高塩分食品の平均塩分量の積および低塩分食品の食品数と低塩分食品の平均塩分量の積の和を総食品数で除することにより求めた。高塩分嗜好者の平均食塩摂取量は、総食品数に占める高塩分食品の割合について表関数により与えられる高塩分嗜好者の食品選択をもとに高塩分食品と低塩分食品の摂取割合を決定し、それぞれの平均塩分量との積を総食品数で除することにより求めた。低塩分嗜好者の平均食塩摂取量も同様に、総食品数に占める低塩分食品の割合について表関数により与えられる低塩分嗜好者の食品選択をもとに低塩分食品と高塩分食品の摂取割合を決定し、それぞれの平均塩分量との積を総食品数で除することにより求めた。全体の平均食塩摂取量は、高塩分嗜好者の人数と高塩分嗜好者の平均食塩摂取量の積および低塩分嗜好者の人数と低塩分嗜好者の平均食塩摂取量の積の和を総人口で除することにより求めた。

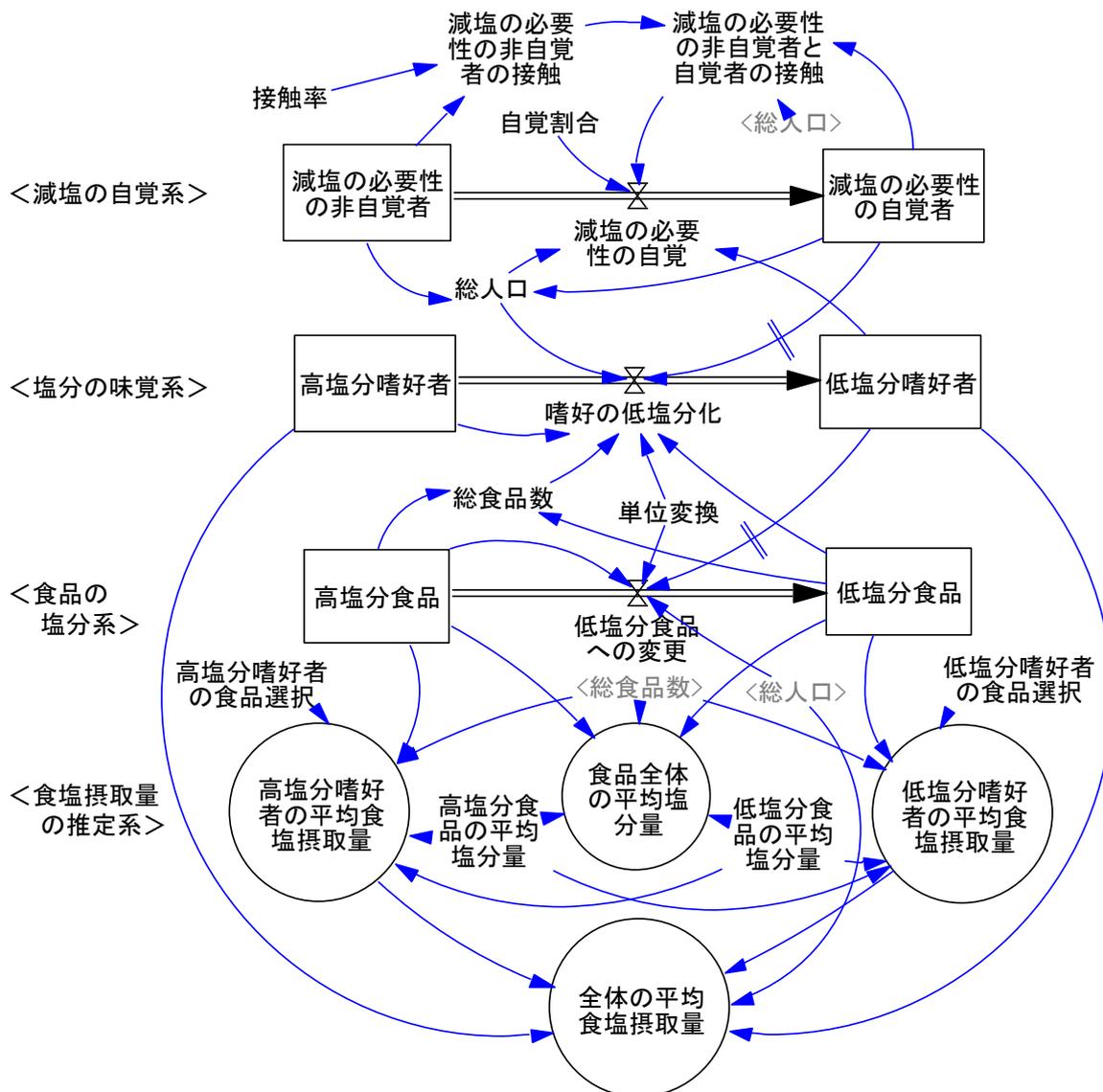


図2 国家レベルの減塩に関するシミュレーションモデル



#### 4. シナリオにもとづく平均食塩摂取量のシミュレーション結果

高塩分嗜好者の食品選択と低塩分嗜好者の食品選択を、選好なし、高塩分嗜好者の選好、低塩分嗜好者の選好、高塩分・低塩分嗜好者の選好の4つのシナリオで変化させることにより、高塩分嗜好者と低塩分嗜好者、そして全体の平均食塩摂取量のシミュレーションを行った。

##### 4.1 選好なし

高塩分嗜好者も低塩分嗜好者も、特に選好なく、高塩分食品と低塩分食品の割合どおりに食品を利用するというシナリオである(図7)。高塩分嗜好者と低塩分嗜好者の平均食塩摂取量が一致するため、全体の平均食塩摂取量も同一であり、さらに図6の食品全体の平均塩分量とも同一のシミュレーション結果である(図8)。

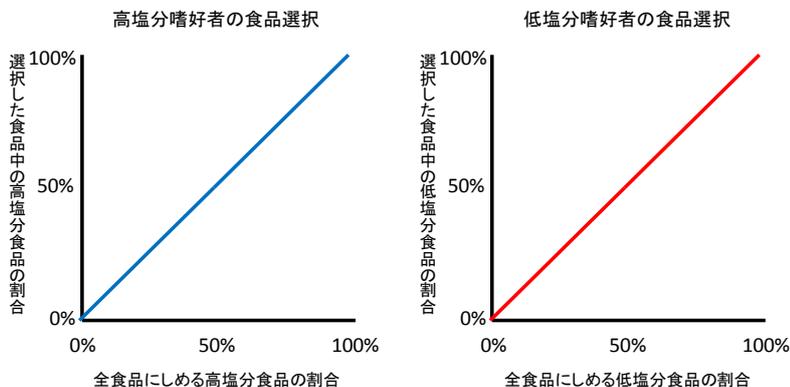


図7 選好なしでの食品選択の表関数

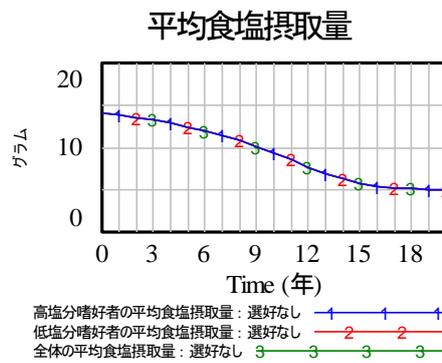


図8 選好なしでの食塩摂取量の変化

##### 4.2 高塩分嗜好者の選好

全食品に占める高塩分食品の割合が50%以上の場合、高塩分嗜好者は高塩分食品のみを利用し、50%未満の場合はその2倍の割合で高塩分食品を利用するというシナリオである(図9)。低塩分嗜好者については、選好なしと同様とする。

平均食塩摂取量は、高塩分嗜好者については高塩分食品の割合が50%未満となる9年後から低下し、低塩分嗜好者については選好なしと同様に変化するが、高塩分嗜好者の人数は9年後まで大きくは減少しないため、全体でも高塩分嗜好者に近いシミュレーション結果となった(図10)。

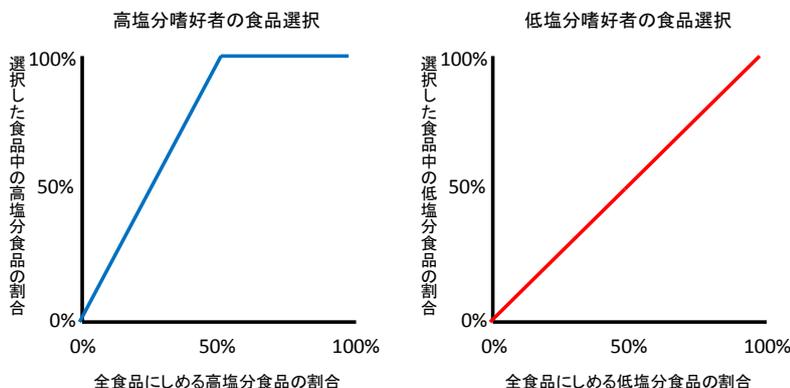


図9 高塩分嗜好者の選好での食品選択の表関数

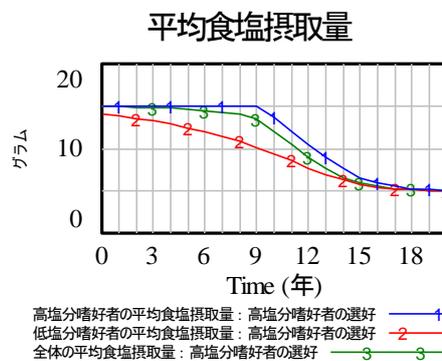


図10 高塩分嗜好者の選好での食塩摂取量の変化

##### 4.3 低塩分嗜好者の選好

全食品に占める低塩分食品の割合が50%未満の場合、低塩分嗜好者はその2倍の割合で低塩分食品を利用し、50%以上の場合は低塩分食品のみを利用するというシナリオである(図11)。高塩分嗜好者については、選好なしと同様とする。

平均食塩摂取量は、低塩分嗜好者については9年後まで急速に低下し、高塩分嗜好者については選好なしと同様に変化するが、高塩分嗜好者の人数は9年後まで大きくは減少しないため、全体でも選好なしに近いシミュレーション結果となった(図12)。

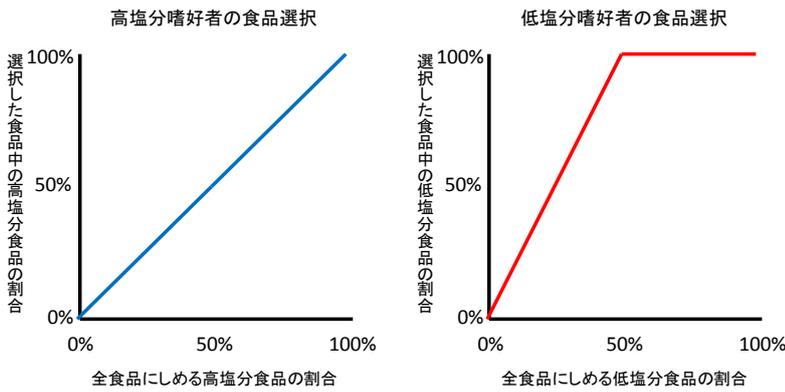


図 11 低塩分嗜好者の選好での食品選択の表関数

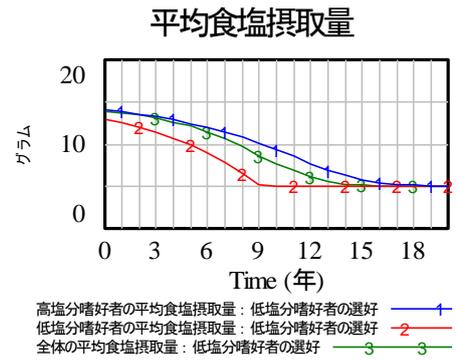


図 12 低塩分嗜好者の選好での食塩摂取量の変化

#### 4. 4 高塩分・低塩分嗜好者の選好

高塩分嗜好者の選好と低塩分嗜好者の選好の2つを合わせたシナリオである(図13)。平均食塩摂取量は、低塩分嗜好者については9年後まで急速に低下するため、全体でもやや高塩分嗜好者の平均食塩摂取量から離れて推移するが、9年後からは低塩分嗜好者の平均食塩摂取量が5gで一定となるため、高塩分嗜好者と全体の平均食塩摂取量は、ほぼ並行となるシミュレーション結果が得られた(図14)。

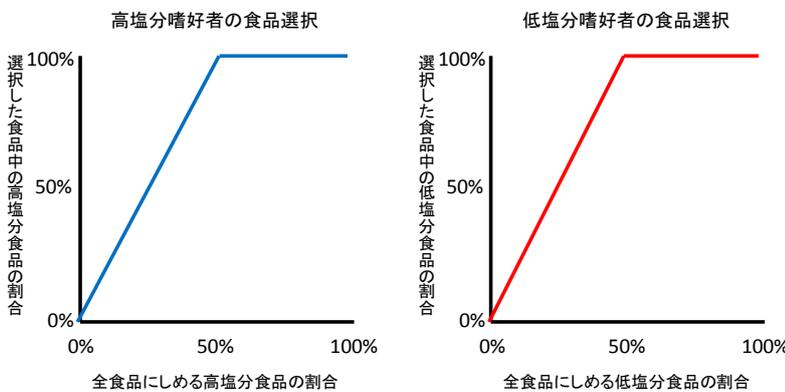


図 13 高塩分・低塩分嗜好者の選好での食品選択の表関数

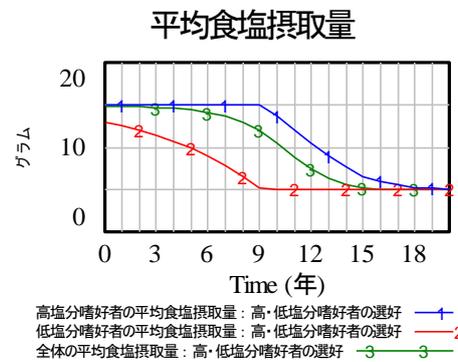


図 14 高塩分・低塩分嗜好者の選好での食塩摂取量の変化

#### 4. 5 4つのシナリオによるシミュレーション結果の比較

選好なし、高塩分嗜好者の選好、低塩分嗜好者の選好、高塩分・低塩分嗜好者の選好の4つのシナリオにもとづく全体の食塩摂取量のシミュレーション結果を図15に示す。

低塩分食品について、選好なしでは高塩分食品と区別することなく利用し、低塩分嗜好者の選好では積極的に利用するシナリオであるが、約5年後までは低塩分嗜好者の人数が大きくは増加しないため、全体の平均食塩摂取量も食品の平均塩分量と同等あるいはそれよりやや低い程度である。一方、高塩分嗜好者の選好および高塩分・低塩分嗜好者の選好のシナリオでは、高塩分嗜好者は約9年後まで高塩分食品のみを利用し続けるため、全体の平均食塩摂取量は高塩分食品と同等の食塩摂取量のまま大きく低下しない。

この結果、国民の平均食塩摂取量を早期に低下させるには、高塩分嗜好者に高塩分食品の利用を継続させるのではなく、早期に低塩分食品を選択するよう誘導することが重要であることが明らかとなった。

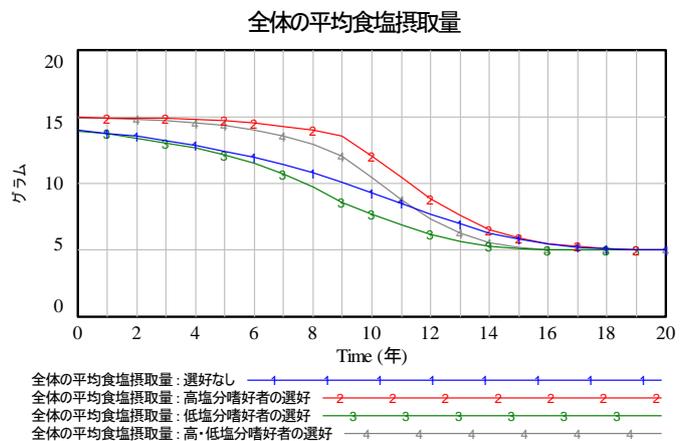


図 15 4つのシナリオでの食塩摂取量の変化

## 5. 結論

減塩の自覚系、塩分の味覚系、食品の塩分系という、それぞれ一対のストックとその間のフローからなる三つの系を結合させた構造を基本として、国家レベルの減塩のシミュレーションモデルを開発した。減塩の自覚系には拡散モデルを適用し、塩分の味覚の変化が減塩の必要性の自覚に遅れて起こることを前提として、三つの系を相互に関連させることにより、近年の食塩摂取量の低下傾向を反映させるようモデルを構築した。選好なし、高塩分嗜好者の選好、低塩分嗜好者の選好、高塩分・低塩分嗜好者の選好の4つのシナリオにもとづき、全体の食塩摂取量のシミュレーションを行ったところ、高塩分嗜好者に早期に低塩分食品を選択するよう誘導することが国民の平均食塩摂取量を早期に低下させるには重要であることが明らかとなった。

## 6. 今後の発展の可能性

本研究は、国民の減塩の自覚と塩分の味覚および食品の塩分の変化により、全体の平均食塩摂取量がどのように変化するか注目して、国家レベルの減塩のシミュレーションモデルを開発する基礎的な研究として行った。今後、本モデルをもとに、主に次の3点において発展させることが可能である。

第一に、本研究は減塩の自覚系、塩分の味覚系、食品の塩分系の相互の関連をみる基礎的な研究として、特に実データとの校正 (calibration) を行わなかったが、近年みられる食塩摂取量の低下傾向を概ね反映させることができた。今後、特定の地域、年齢層についてシミュレーションを行う場合には、現状値を高塩分食品の平均塩分量に、目標値を低塩分食品の平均塩分量に設定すれば、シミュレーションモデルとしての利用可能性が高まると考えられる。

第二に、本モデルでは高塩分嗜好者と低塩分嗜好者に食品の選択は可能としたが、高塩分食品と低塩分食品の平均塩分量は一定とした。これは、加工食品や外食、中食を利用する場合のように、摂取する塩分量があらかじめ決まっている場合を想定しているが、調理や食卓で調味料を使用することを考慮できていない。日本では英国ほど加工食品の占める割合が高くないため、調味料の使用を平均食塩摂取量の推定に反映できるようモデルを修正することも必要である。ただ、塩分の味覚に応じて、食品を選択したり、調味料を使用したりしている可能性を考えると、現状のモデルでも大きな違いは生じないとも考えられる。

第三に、本研究では年齢層を区分せずに20年間のシミュレーション結果を示しているが、年齢層によって食塩摂取量は異なることから[1]、年齢層別に減塩の自覚系や塩分の味覚系を構築し、加齢 (ageing) も取り込んだモデルに発展させることも可能である。さらに、本研究では減塩の自覚系に拡散モデルを適用して減塩の必要性の自覚、嗜好の低塩分化という一方向のフローをもとにモデルを構築したが、加齢とともに嗜好が高塩分に逆戻りするようなフローを加える必要もあると考えられる。それをもとに、年齢別に減塩のアプローチを展開した際に、生活習慣病による罹患や死亡がどのように変化するかをモデル化することも可能である。

## 7. 謝辞

本研究は、同志社大学大学院ビジネス研究科におけるソリューションレポート「日本人における減塩の国家的戦略」で用いたモデルを発展可能性の高いモデルとしてあらためて開発を行い、シナリオにもとづく検討を行ったものである。レポートのご指導をいただいた同研究科の山口薫教授、福島史郎嘱託講師に厚くお礼申し上げます。また、本研究はJSPS 科研費 24590832 の助成をうけたものです。

本研究の一部はJSD Conference 2012 (2012年11月24日、京都市) で発表した。

## 参考文献

- [1]厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室: 平成22年国民健康・栄養調査報告, 厚生労働省, 2012  
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyuu/h22-houkoku.html> (平成25年3月12日閲覧)
- [2] World Health Organization: Reducing salt intake in populations, Report of a WHO forum and technical meeting, Geneva, 2007
- [3] 西 信雄: 国民健康・栄養調査報告からみた日本人のエネルギー代謝, 内分泌・糖尿病・代謝内科, 35: 346-351, 2012
- [4] Anderson CAM, et al: Dietary sources of sodium in China, Japan, the United Kingdom, and the United States, Women and Men aged 40 to 59 years: The INTERMAP Study, J Am Diet Assoc, 110: 736-745, 2010
- [5] MS&L: 海外減塩事情調査2010: ニューヨーク、ロンドン、フィンランドの減塩事情現地調査報告書, 2010
- [6] 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会・次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会: 健康日本21 (第2次) の推進に関

する参考資料, 2012 (<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002ddhl-att/2r9852000002ddxn.pdf>, 2013年3月12日閲覧)

- [7] Homer JB, Hirsch GB: System dynamics modeling for public health: background and opportunities, *Am J Public Health*, 96: 452-8, 2006
- [8] 西 信雄: システム・ダイナミクスの理論と実際, *日本循環器病予防学会誌*, 48: 23-32, 2013
- [9] Jones AP, Homer JB, Murphy DL, Essien JDK, Milstein B, Seville DA. Understanding diabetes population dynamics through simulation modeling and experimentation. *Am J Public Health*. 96: 488–94, 2006
- [10] Hirsch G, Homer J, Evans E, Zielinski A: A system dynamics model for planning cardiovascular disease interventions, *Am J Public Health*, 100: 616–22, 2010
- [11] Cavana RY, Tobias M: Integrative system dynamics: analysis of policy options for tobacco control in New Zealand, *Syst Res Behav Sci* 25: 675-694, 2008
- [12] Tobias MI, Cavana RY, Bloomfield A: Application of a system dynamics model to inform investment in smoking cessation services in New Zealand, *Am J Public Health* 100: 1274-81, 2010