

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）
食環境づくりの推進を通じた減塩の取組がもたらす公衆衛生学的効果及び
医療経済学的効果を推定するための研究
分担研究報告書

減塩の効果のシミュレーションに関する海外先行事例調査

研究分担者 西 信雄（聖路加国際大学 大学院公衆衛生学研究科）

研究要旨

海外の食環境づくりの推進を通じた減塩の取組による公衆衛生学的・医療経済学的効果のシミュレーションの先行事例として、米国、英国、豪州の事例を調査した。米国 CDC による PRISM のウェブサイトでは、対象とする地域の人口学的特性を設定した後、介入の初期条件を設定することで、死亡と罹患、費用、費用対効果等に関するシミュレーション結果の出力を得ることができた。減塩の介入条件の設定では、減塩のためのメニュー・食事の変更や減塩食品の購入・選択の促進等、食環境に関する介入で達成可能な減塩量を別途推定し、その結果を介入条件に含めることができた。PRISM はシステム・ダイナミクスによるシミュレーションモデルに基づいており、参照可能なデータがある限り多くの変数を組み込むことや、グループ討議によってモデルを検討できることなどの応用可能性を考慮すると、今後日本において同様のモデルやウェブサイトを開発する際にシステム・ダイナミクスはシミュレーション手法として第一選択になると考えられた。英国のシミュレーションモデルはウェブサイトで利用可能であったが、公衆衛生的というよりむしろ予防医学的で、減塩の介入に関するシミュレーションを行うのには適切ではなかった。豪州ではシミュレーションモデルの開発が続けられているものの、公開されたウェブサイトは確認できなかった。

A. 目的

日本人の食塩摂取量は長期的に減少しているが、依然として高い水準にある。我々は、平成 31 年度から令和 3 年度の厚生労働科学研究費補助金による「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」（研究代表者：西 信雄）において、シミュレーションによる減塩政策の医療経済学的評価を行った。まず、海外の減塩政策に関するシミュレーションによる医療経済学的評価の先行研究を整理した[1]。また、日本人のシミュレーションモデルを構築して減塩目標達成による循環器疾患（CVD）予防の医療費抑制効果の将来予測及び戦後の食塩摂取量減少に伴う CVD 死亡率減少の推定を行った[2, 3]。

このように、これまでシミュレーションモデルは主に学術的な研究に用いられてきたが、今後はエビデンスに基づく政策形成（evidence-based policy making: EBPM）に資するよう、自治体の政策立案者等がモデルを活用できる環境を整えていくことが課題となっている。本研究は、海外の食環境づくりの推進を通じた減塩の取組による公衆衛生学的・医療経済学的効果のシミュレーションの先行事例を調査するとともに、

各シミュレーション手法の特徴と適用可能性を整理することを目的とした。

B. 研究方法

減塩が予防的に働く非感染性疾患として心疾患および脳血管疾患を含む CVD、慢性腎臓病（CKD）、胃がん等が挙げられるが、減塩が血圧値の低下を介して CVD および CKD の予防に寄与する機序を考慮して、CVD の様々な危険因子とともに、CVD の罹患と死亡、またそれにとまなう医療費等について包括的なシミュレーションモデルを構築している研究を対象とした。

検索キーワードとして「cardiovascular disease prevention」、「salt reduction」および「simulation model for local government」を用いて、Google および PubMed で検索を行った。また、関連の研究者に連絡を取り、追加すべき文献について情報を収集した。

（倫理的配慮）

本研究は文献等の公表資料を用いて行ったもので個人情報とは取り扱わなかった。

C. 研究結果

検索の結果、米国疾病予防管理センター

(the Centers for Disease Control and Prevention: CDC) の The Prevention Impacts Simulation Model (PRISM) を Google により同定した (PubMed では該当なし)。また、英国公衆衛生庁 (Public Health England) の Cardiovascular Disease Prevention Return on Investment Tool、豪州の The Compelling Case for Prevention project を関連の研究者からの情報等により採用した。以下に順に紹介する。

1. 米国 PRISM

1) 概要

PRISM は、公衆衛生分野でのシステム・ダイナミクス (system dynamics: SD) 研究の第一人者である Jack Homer 博士 (Homer Consulting) が CDC の Bobby Milstein 博士らと共同して、米国のいくつかの自治体の関係者と CVD 予防の SD モデルを開発したことが起源となっている [4]。

PRISM の基本モデルの全体像を図 1 に示す。PRISM の特徴として、生活習慣 (たばこ規制、バランスのよい食事、メンタルヘルス、中程度の運動)、肥満予防、社会的要因への介入等の上流の予防 (upstream prevention) と慢性疾患の臨床的治療を含む下流の予防 (downstream prevention) の両方を扱っていることが挙げられ、上流の予防では慢性疾患の有病割合を減少させる可能性、また下流の予防は合併症の発症率低下、QOL の改善、寿命の延長、医療費の抑制、死亡率の低下をもたらす可能性をシミュレーションにより確認することができる [5]。

PRISM は CDC で予算化され、2020 年から CDC のウェブサイト (<https://prism-simulation.cdc.gov/app/cdc/prism/#/>) で利用可能となっており [6]、公衆衛生関係者は主に以下が実行可能である。

- ・調べたい政策介入を選択する。
- ・上流および下流の健康指標の変化を見る。
- ・選択した政策の短期および長期の効果を評価する。
- ・異なる介入シナリオの健康面および費用面への効果を推定し、比較する。

なお、PRISM の新規登録時の操作方法については表 1 にまとめた。

2) 人口学的特性の設定

①人口学的情報の入力

人口、人口密度、老年人口割合、ヒスパニック系人口の割合、30-64 歳の全死因および CVD 死亡率等を入力する。米国全体の平均値

を選択することも可能である。

②人口学的特性の選択肢

人口規模および人口学的特性 (人口規模、老年人口割合、ヒスパニック系人口や貧困者の割合等) をもとにした 6 つと米国全体の計 7 つの選択肢から 1 つを選択する。モデルのパラメーターはこの 7 つの選択肢についてそれぞれ計算されており、①の人口学的情報の入力を行うことによって、PRISM のソフトが最適な選択肢を提示するようになっている。

3) 介入の初期条件の設定

介入の初期条件としては、以下の 10 カテゴリーが準備されている。

- ・喫煙
- ・PM2.5 による大気汚染
- ・食事
- ・身体活動
- ・減量
- ・CVD 非罹患患者における危険因子ケア
- ・CVD 罹患患者における危険因子ケア
- ・CVD 罹患患者の治療
- ・不安
- ・歯周病

さらに、食事のカテゴリーでは次の 7 つの介入方法が選択できるようになっている。

- ・高エネルギー密度食品の価格決定
- ・高エネルギー密度食品に対抗するマーケティング
- ・果物・野菜へのアクセス
- ・果物・野菜の販売促進
- ・非高血圧者における食塩摂取
- ・高血圧者における食塩摂取
- ・トランス脂肪酸の摂取

介入手段設定ワークブック (Lever Setting Workbook) を参照すれば、各介入の具体的な手段ごとに、どの程度の変化を見込むかを検討することができる。

4) 減塩の介入条件の設定

上記の初期条件の設定で非高血圧者における食塩摂取および (または) 高血圧者における食塩摂取を選択すると、ナトリウム値として前者では 3,900mg、後者では 3,700mg を初期値とする設定画面が表示される。これらの数値は 2009 年から 2016 年にかけての国民健康栄養調査 (National Health and Nutrition Examination Survey: NHANES) のデータに基づくもので、介入手段付属書 (Lever Appendix) によると厳密にはそれぞれ 3,912mg と 3,729mg である。

介入条件の設定では、ナトリウム値をこの初期値から何年間でどこまで変化させるかの目標値を 1,500mg から 6,000mg までの範囲で選択するようになっている。

介入手段設定ワークブック（エクセルファイル）では、減塩の介入では以下の4つの手段が示されている。

- ・減塩のためのメニュー・食事の変更（高）
- ・減塩食品の購入・選択の促進（中）
- ・食塩を含む食品の栄養成分表示（中）
- ・減塩食品の利用可能性および識別の向上のための食品販売業者との協働（中）

それぞれの手段には括弧内に示した強度（intensity）があらかじめ設定されており、高強度は 0.7、中強度は 0.35 の係数が適用される。また、それぞれの介入の手段が人口のどの程度に届くかの範囲（reach）も 0～100% で設定可能である。

これらの強度と範囲をもとに各介入手段により達成が見込まれる変化量（ここでは減塩量）が計算でき、その数値を介入条件の設定画面で目標値として入力することができる。

以上の介入条件の設定に加えて、実施のコストも低、中、高のいずれかから選択できる。

5) 介入のシミュレーション結果の表示

介入条件を設定してシミュレーションを実行すると、以下の項目について結果が表示される。

- ・死亡と罹患（死亡、損失生存可能年数、生活の質で補正した生存年数、CVD 死亡、CVD 罹患等）
- ・費用（総費用、直接費用、間接費用等）
- ・費用対効果（獲得生存年数、生活の質で補正した生存年数等）
- ・慢性疾患（高血圧、糖尿病、高コレステロール等）
- ・医療（予防ケア、急性およびリハビリケア、禁煙治療、肥満治療等）
- ・不安（不安、サポートサービス）
- ・喫煙と大気汚染（過去喫煙者、受動喫煙者等）
- ・肥満（身体活動、高エネルギー密度食品の過剰摂取等）
- ・栄養（高エネルギー密度食品の過剰摂取、果物・野菜、トランス脂肪酸過剰摂取、ナトリウム過剰摂取）
- ・身体活動（若年者への介入、集団への介入等）
- ・若年者（肥満、栄養、身体活動、喫煙）

・感度分析（「6～8 分程度かかる」と表示されるが、別途 csv ファイルで出力される）

減塩の介入条件として、非高血圧者における食塩摂取および高血圧者における食塩摂取について、それぞれ 500mg の低下（前者で 3900mg から 3400mg、後方で 3700mg から 3200mg）を設定して実行した結果の例を以下に示す（図 2～図 5）。

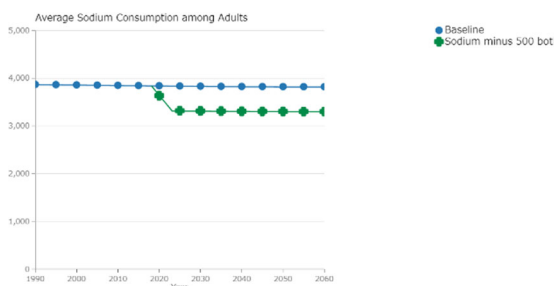


図 2 食塩摂取量の推定値の変化

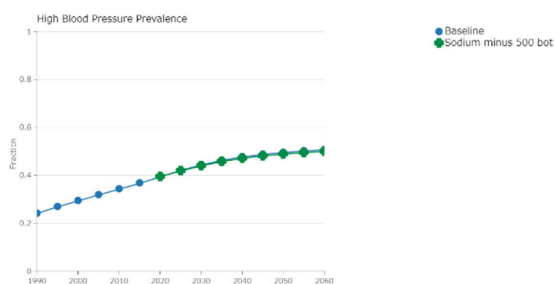


図 3 高血圧有病率の推定値の変化

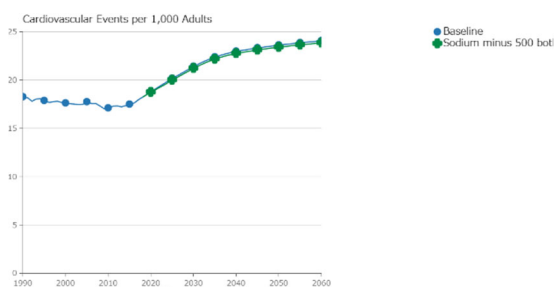


図 4 CVD 罹患率の推定値の変化

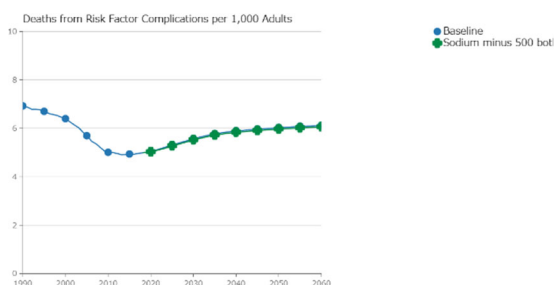


図 5 死亡率の推定値の変化

6) 留意点

PRISM は公衆衛生関係者および研究者が

利用することを想定しており、その推定値は各地方自治体における政策立案、プログラム実施、予算配分、およびプログラム評価に有用である一方、PRISMの結果は予想や予測と考えるべきではないことが強調されている。

2. 英国 Cardiovascular Disease Prevention Return on Investment Tool

1) 概要

英国公衆衛生庁から公開されているシミュレーションツールであり、最終報告 (Final Report)、ユーザーガイド (User Guide)、技術付録 (Technical Appendix) 等の文書が公表されている。

CVD のハイリスク状態として高血圧、心房細動、(家族性を含む) 高コレステロール血症、糖尿病 (1 型および 2 型)、非糖尿病高血糖、慢性腎臓病 (CKD) を取り上げている。生活習慣改善や投薬による介入のうち、短期間では脂質異常症治療薬 (statin) が、長期間では降圧薬と毎年の健診が効果的であるとしている。生活習慣改善はモデルの対象期間中には費用対効果があるという結果は得られなかったが、さらに長期にわたっての経費削減効果を排除するものではないとしている。

シミュレーションモデルは University of Sheffield の研究者を中心とする School for Public Health Research (SPHR) が開発した糖尿病予防モデル [7] を基盤としている。この糖尿病予防モデルは、英国の一般開業医 (general practitioner: GP) の受診にはじまり、CVD の各危険因子から CVD の発症、CVD 等の死亡までを 1 年間のサイクルで繰り返す構造となっており、シミュレーション方法として明示はされていないものの、参考になっている文献の大半がマルコフコホートであるため、マルコフコホートを基本とするモデルであると考えられる。本シミュレーションツールも糖尿病予防モデルを踏襲し、CVD の各危険因子から CVD 等の発症、死亡までを 1 年間のサイクルで繰り返す構造となっている (図 6)。

2) 減塩の介入に関するシミュレーション

本シミュレーションツールは、CVD の危険因子や罹患、さらには医療経済学的な変数までを扱っているものの、公衆衛生的というよりむしろ予防医学的に GP が地域住民の健康をどのように管理するかという観点で作成されている。そのため、減塩に関しても

高血圧管理の観点から GP のアドバイスの重要性は認めるものの、介入の選択肢としては組み込まれていない。減塩の達成度に応じた高血圧有病率の変化を介入として設定して、減塩の効果を間接的に観察することは可能である。

3. 豪州 The Compelling Case for Prevention project

1) 概要

豪州予防パートナーシップセンター (the Australian Prevention Partnership Centre) がディーキン大学の協力を得て実施したプロジェクトで、CVD 等の慢性疾患をアウトカムとして、一般的な危険因子に加えて、社会・経済・環境因子も含めた SD モデルを基本とするシミュレーションモデルを開発した (図 7)。研究費による支援は第 1 期が 2018 年まで

(<https://preventioncentre.org.au/research-projects/building-a-compelling-case-for-prevention-phase-1/>)、第 2 期が 2022 年までであり

(<https://preventioncentre.org.au/research-projects/compelling-case-project-phase-2/>)、豪州全体のモデルが 2019 年に発表されて以降、GoHealth と呼ばれるモデルの開発が続けられている。

2) 減塩の介入に関するシミュレーション

CVD 等の罹患・死亡に関するモデルであり、食事を含む生活習慣への介入も対象となっているが、完成版が公開されておらず、減塩の介入についての詳細は不明である。

D. 考察

本報告書では、主に CVD 予防の観点で減塩の効果のシミュレーションを実装した自治体向けのウェブサイトについて、概要と減塩の介入について紹介した。紹介した事例は米国、英国、豪州の 3 か国に限られるものの、米国の PRISM からは詳細な情報が得られたため、海外先行事例調査としては、十分に参考になると考える。

米国の PRISM で用いられているシミュレーション手法は SD であった。SD はシステム思考に基づいており、2022 年に世界保健機関 (World Health Organization: WHO) 欧州地域事務局が公表したガイダンスでは、非感染性疾患の予防政策におけるシステム思考の重要性について解説しており、SD の実例として PRISM も紹介されている [8]。SD で

は因果ループ図による質的なモデルとストック・フロー図による量的なモデルの両者が利用可能であり、因果ループ図を用いたグループ討議によるモデル作成からストック・フロー図を用いたシミュレーションまで応用範囲が広い。また変数間の関連やフィードバックを考慮することができるため、参照可能なデータがある限り、多くの変数をモデルに組み込むことができる。

減塩の介入のシミュレーションにおいては、食塩摂取量の低下に応じて高血圧有病率が低下し、さらに CVD の罹患や死亡などに関連する医療費や介護費の削減につながることが期待される。このような医療経済学的評価に用いられるシミュレーション手法には今回検討した SD やマルコフコホートが挙げられる。いずれも医療経済学的な研究では用いられるが、参照可能なデータがある限り多くの変数を組み込むことや、グループ討議によってモデルを検討できることなどの応用可能性からすると、米国 PRISM と同様に、日本においても SD をシミュレーション手法として採用するのが適切と考えられる。

米国 PRISM では 2008 年ごろに地域自治体で利用可能なモデルが開発されて以来、多くの研究者により論文が公表され、モデルの改良や妥当性検証が続けられてきた[4-6]。その間、参照可能なデータも多く収集し、出力変数も整備した後、CDC の予算により 2020 年に一般に利用可能なウェブサイトが公開された。そのため、構想段階からすると、おそらく 20 年に近い年月と多くの研究者の努力や多額の予算が投入されている。日本の自治体で利用可能なウェブサイトを作成するためにも、厚生労働科学研究費補助金による継続的な支援が望まれる。

本報告の限界点としては、事例の少なさが挙げられる。Google の検索で得られたのは米国 PRISM だけであり、他に英国と豪州の事例を採用したのみであった。他国での事例がないとはいえないが、海外における減塩政策による CVD 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学的評価研究をレビューした論文[1]でも、米国、英国、豪州におけるモデルが中心であったため、他国でモデル作成からウェブサイト公開まで最近の短期間で完成させた事例がある可能性は低いと考えられる。

E. 結論

海外の食環境づくりの推進を通じた減塩

の取組による公衆衛生学的・医療経済学的効果のシミュレーションの先行事例として、米国、英国、豪州の事例を調査した。米国 CDC による PRISM では、ウェブサイトで減塩のためのメニュー・食事の変更や減塩食品の購入・選択の促進等、食環境に関する介入で達成可能な減塩量を別途推定し、その結果を介入条件に含めることができた。PRISM はシステム・ダイナミクスによるシミュレーションモデルに基づいており、参照可能なデータがある限り多くの変数を組み込むことや、グループ討議によってモデルを検討できることなどの応用可能性を考慮すると、今後日本において同様のモデルやウェブサイトを開発する際にシステム・ダイナミクスはシミュレーション手法として第一選択になると考えられた。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

Nishi N. Application of system dynamics in noncommunicable disease prevention. 1st International Conference in Public Health 2023.8.3, Rajshahi, Bangladesh (オンライン)

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

H. 引用文献

1. 加藤浩樹, 池田奈由, 杉山雄大, 野村真利香, 由田克士, 西 信雄. 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学的評価研究の現況. 日本公衛誌 2021; 68(9): 631-643. doi:10.11236/jph.20-150.

2. Ikeda N, Yamashita H, Hattori J, Kato H, Yoshita K, Nishi N. Reduction of Cardiovascular Events and Related Healthcare Expenditures through Achieving Population-Level Targets of Dietary Salt Intake in Japan: A Simulation Model Based on the National Health and Nutrition Survey. Nutrients. 2022; 14(17):3606.

<https://doi.org/10.3390/nu14173606>

3. Sugiyama T, Ikeda N, Minowa K, Nishi N. Estimation of the Effect of Salt-Intake Reduction on Cardiovascular Mortality Decline between 1950 and 2017 in Japan: A Retrospective Simulation Study. *Nutrients*. 2022; 14(18):3747. <https://doi.org/10.3390/nu14183747>
4. Homer J, Milstein B, Wile K, Pratibhu P, Farris R, Orenstein DR. Modeling the local dynamics of cardiovascular health: risk factors, context, and capacity. *Prev Chronic Dis*. 2008;5(2):A63.
5. Wang Y, Hu B, Zhao Y, Kuang G, Zhao Y, Liu Q, Zhu X. Applications of System Dynamics Models in Chronic Disease Prevention: A Systematic Review. *Prev Chronic Dis*. 2021;18:E103. doi: 10.5888/pcd18.210175.
6. Yarnoff B, Honeycutt A, Bradley C, Khavjou O, Bates L, Bass S, Kaufmann R, Barker L, Briss P. Validation of the Prevention Impacts Simulation Model (PRISM). *Prev Chronic Dis*. 2021;18:E09. doi: 10.5888/pcd18.200225.
7. Breeze P, Thomas C, Squires H, et al. School for Public Health Research (SPHR) Diabetes Prevention Model: Detailed Description of Model Background, Methods, Assumptions and Parameters: HEDS Discussion Paper Series 2015.
8. Systems thinking for noncommunicable disease prevention policy: guidance to bring systems approaches into practice. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2022.

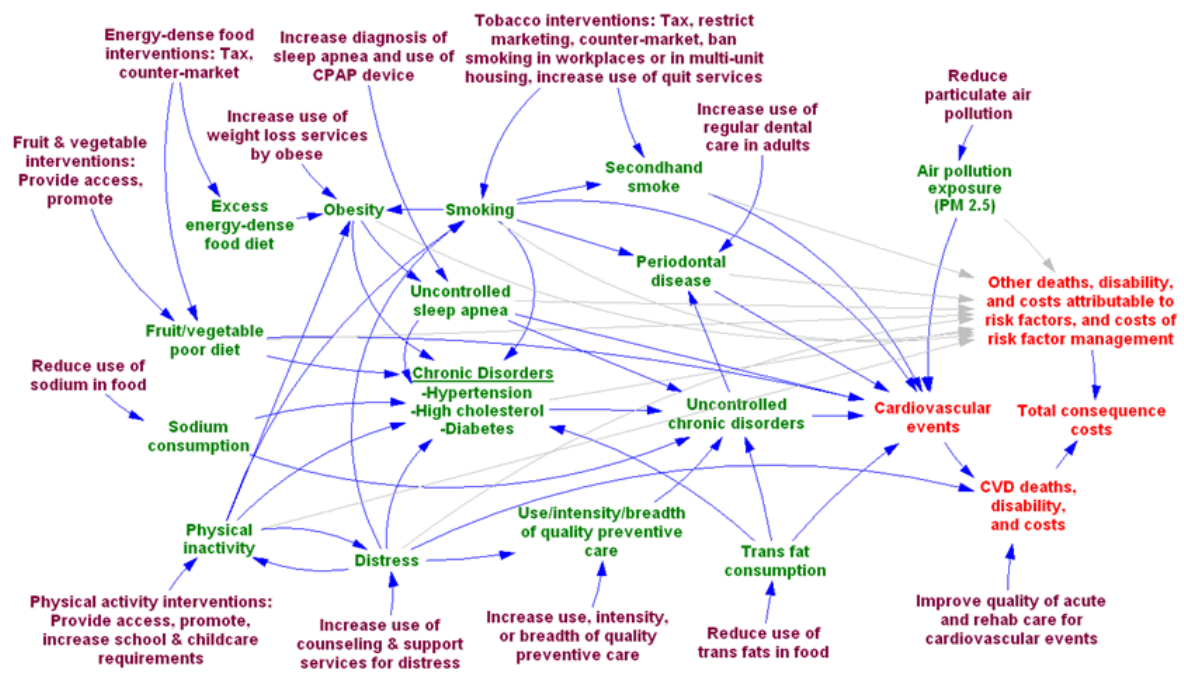


図1 PRISMの基本モデルの全体像

Figure 2: Model schematic showing the order in which updating of population characteristics takes place in each year of the simulation

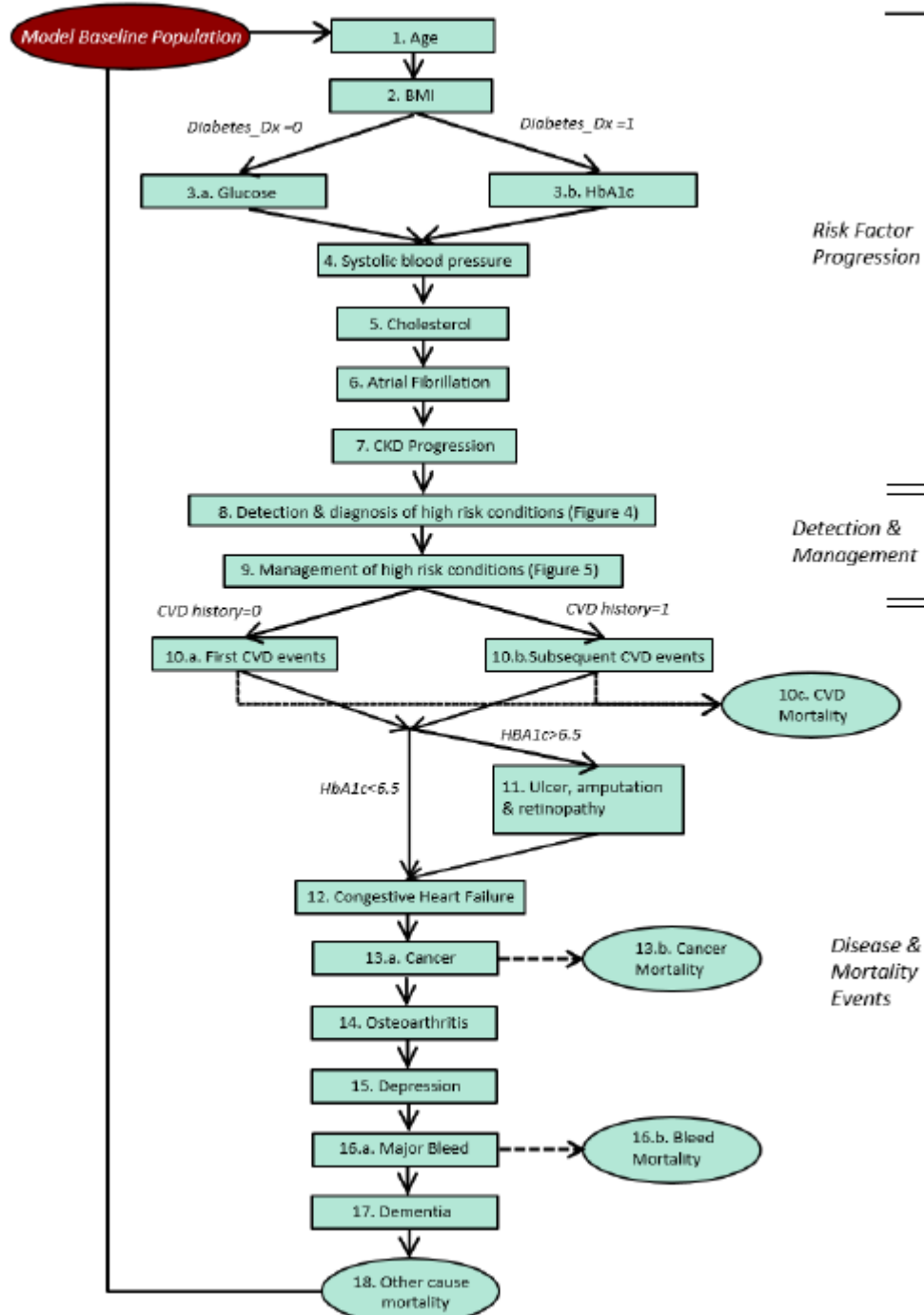


図6 英国 Cardiovascular Disease Prevention Return on Investment Tool の基本モデル

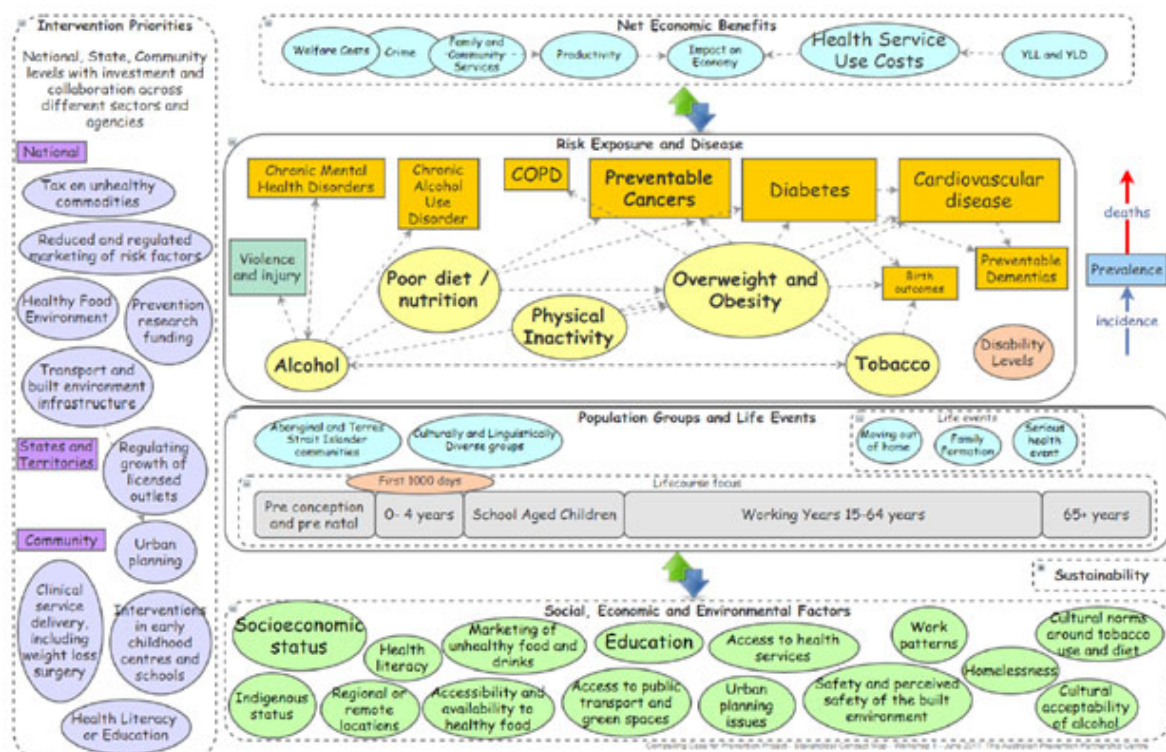


Figure 1: Conceptual model of preventable chronic disease, produced November 2017

図7 豪州 The Compelling Case for Prevention project のモデル概要図

表 1 PRISM の新規登録時の操作方法

1. 新規ログイン 1) 以下のサイトにアクセスする。 https://prism-simulation.cdc.gov/app/cdc/prism/#/ 2) 新規ログインの画面でメールアドレスを登録する。 3) 自動送信されたメールにある URL をクリックして、パスワード設定画面でパスワードを登録する。 4) 登録完了後、メールアドレスとパスワードでログインする。
2. 新規ユーザーへの説明 1) ホーム画面で「クイックツアー (Quick Tour)」または「シナリオ作成 (Create a Scenario)」を選択する。 2) 「クイックツアー」では、操作方法の概要を習得できるよう以下の 8 つの YouTube ビデオが視聴可能である。 ・クイックツアー (Quick Tour) ・シナリオの指定 (Specifying a Scenario) ・結果の調査 (Exploring Results) ・結果の比較 (Comparing Results) ・初期条件の設定 (Setting Initial Conditions) ・感度分析 (Sensitivity Analysis) ・救われた命と節約できた出費 (Lives & Dollars Saved) ・介入手段設定ワークブックのツアー (Lever Settings Workbook Tour) 3) 「シナリオ作成」では、新規ユーザーに以下に関する説明が表示される。 ・シナリオの実行方法 (How to run a scenario) ・介入 (Interventions) ・介入における数値 (Intervention values) ・介入における数値の高低 (High vs Low intervention values) ・実施費用 (Implementation costs)
3. 文書・資料集 以下がアクセスしやすいように一箇所にまとめられており、ダウンロード可能である。 ・因果ループ図 (Causal Map) ・参照ガイド (Reference Guide) ・介入手段付属書 (Lever Appendix) ・介入手段設定ワークブック (Lever Setting Workbook) ・引用可能な査読付き論文 (Peer-Reviewed Citations) ・よくある質問 (FAQ)
4. 用語集 用語集が掲載されているだけでなく、ウェブサイト上でその用語が使用されている箇所(用語集にある)説明を表示させることができる。
