

プレジジョン栄養学

—データ駆動型個別化栄養学の社会実装に向けて—

日本栄養・食糧学会

監修

小田 裕昭・田原 優・園山 慶

責任編集

建帛社

KENPAKUSHA

Precision Nutrition

Towards the Social Implementation of Data-Driven Personalized Nutrition

Supervised by

JAPAN SOCIETY OF
NUTRITION AND FOOD SCIENCE

Edited by

Hiroaki Oda

Yu Tahara

Kei Sonoyama

©Hiroaki Oda et al. 2024, Printed in Japan

Published by

KENPAKUSHA Co., Ltd.

2-15 Sengoku 4-chome, Bunkyo, Tokyo 112-0011, Japan

序 文

プレジジョン栄養学という言葉はまだ聞き慣れないかもしれない。最新の技術に基づく先進的で精密な個別化栄養学をこのように呼ぶようになった。人にはそれぞれの「体質」があり、太りやすかったり、特定の病気になりやすかったりする。すべての人が幸せと高いQOLを実感できるウェルビーイングを実現するために、個々人に最適化された健康的な食事のためのプレジジョン栄養学が求められている。プレジジョン栄養学は、これまでの栄養学の知識をフル活用するとともに、情報技術、AI技術を最大限に活かすことによりビッグデータを駆動力として、あまり栄養学を意識しない人でも健康になれるシステムを目指している。つまり、プレジジョン栄養学は、あなたに「寄り添う」、「持続可能」なかかりつけの栄養士・管理栄養士のようなものである。

世界的にプレジジョン栄養学の社会実装研究が進む中、2023年5月に第77回日本栄養・食糧学会大会が札幌コンベンションセンターで開催されたが、本書と同名のシンポジウムは会場に入りきれないほど超満員となり、世界の動向に対して遅れていた日本でも研究機運が高まってきていると感じさせるものとなった。本書は、シンポジウムでのスピーカーを中心に、新たに7人の方に参画していただき、プレジジョン栄養学の現状と展望を概説した。

プレジジョン栄養学は個人を特定（個別化）するところから始まるが、従来のニュートリゲノミクスや分子栄養学に網羅的解析を行うオミクス生物学が加わり、精密な個別化が可能になった。さらに、腸内細菌の多様性が個人差や体質をよく説明することもわかってきた。睡眠やエネルギー摂取、女性のライフスタイルの複雑さ、体内時計などが個別化の重要な因子となっていることも明らかにされてきた。現代の情報通信技術の進歩により、ウェアラブルデバイスを使って非侵襲的に体の中を推測することもできるようになってきている。

プレジジョン栄養学を実践していくには、まだ多くの課題がある。自身の健康状態や食事を知るためのツールと、その情報を行動変容に導くツール、それらを有効にするための科学的エビデンスが必要である。したがって、科学的根拠に基づく栄養学

(evidence based nutrition : EBN) をしっかりと認識しつつ、新たな手法に対するエビデンスを構築していくことは、これからの課題であり、実際にエビデンスに基づいて食事の提案・提供をしていく必要がある。プレジジョン栄養学は研究にとどまらず、社会への実装により多くの人を健康に導く、意味のある学問分野であるとともに、社会活動である。そして多くの産業が協業するための基盤となるのが、情報技術・AI 技術を活用した「デジタルプラットフォーム」である。このようにレシピデータベースや個人情報などの権利保護を実現しつつ、緩やかに共有できる社会インフラが必要である。

本書ではほとんど触れていないが、「プラネタリー・バウンダリー（地球の限界）」は人類の喫緊の課題である。私たちの食に関連する行動も地球に対して大きな負荷になっているため、栄養学もこれを意識していかなければならない。プレジジョン栄養学は食の出口としての健康を提供するとともに、過剰なエネルギーを摂取せず、最適な食事を提供することで食品ロスを減らし、なおかつ美味しい食生活に貢献できるものと考えている。

本書の趣旨に賛同いただき、多忙の中、最新の知見をまとめていただいた執筆者各位に感謝申し上げます。また、本書を刊行するにあたり多大なご尽力をいただいた株式会社建帛社の筑紫和男氏に深謝申し上げます。

2024年3月

責任編集者 小田 裕 昭
田原 優
園山 慶

目 次

序章 プレシジョン栄養学の現状と展望

〔小田裕昭・阪野朋子・内田友乃・池田彩子〕

1. はじめに	1
2. プレシジョン栄養学が求められる背景	3
3. プレシジョン医学	5
4. プレシジョン予防医療	6
5. プレシジョン栄養学	8
6. 「データ駆動型」プレシジョン栄養学	9
7. 「データ駆動型」におけるアウトカムの自由度	12
8. 個人差, 「体質」は何に由来するのか	13
(1) ゲノム, トランスクリプトーム, プロテオーム, メタボローム	13
(2) マイクロバイオーム	14
(3) ウェアラブルデバイスによるリアルタイムモニタリング	15
(4) リズモーム (体内時計の総体) ——生体リズムのビッグデータ	16
9. プレシジョン栄養学の実践プラットフォーム	18
(1) 介入システム	20
(2) 評価システム	22
10. レシピデータベースは健康社会に向けた社会インフラである	25
11. 「寄り添い」, 「持続可能」なプレシジョン栄養学に必要なゲーム性	26
12. プレシジョン栄養学の社会実装に向けて多くの産業界との 連携が必要である	29
(1) 生体情報の取得に関わる産業	31
(2) 個人のビッグデータの解析産業	31
(3) 食品を提供する産業	32
(4) 小売, 宅配産業	33
(5) 運動などの健康プロバイダー産業	33
(6) 食事モニタリング産業	33
(7) 統合デジタルプラットフォーム	34

13. 持続可能な地球に優しいプレジジョン栄養学	34
14. おわりに	35

第1編 データ駆動型個別化方法

第1章 ゲノムとプレジジョン栄養学〔五十嵐麻希・齋藤憲司・加藤久典〕

1. はじめに	41
2. ゲノムとは	41
3. バリエントと分類	43
4. 日本人の栄養素代謝に関連するバリエント	45
(1) アルコール代謝と関連バリエント	45
(2) 葉酸代謝と関連バリエント	48
(3) カフェイン代謝と関連バリエント	52
5. 日本人の食行動に関する遺伝領域とバリエント	55
(1) 食行動との関連領域	55
(2) コーヒー摂取量との関連領域	59
(3) 飲酒との関連領域	59
(4) 食事の選択と量に関するバリエント	59
6. おわりに	60

第2章 腸内細菌とプレジジョン栄養学 [金 倫基]

1. はじめに	63
2. 腸内細菌叢の機能と代謝物	64
3. 食事成分と腸内細菌	67
(1) 炭水化物	67
(2) タンパク質	69
(3) 脂質	71
(4) ポリフェノール	71
4. オミクス解析による腸内環境を考慮に入れた栄養設計	72
(1) メタゲノミクス	72
(2) ジェネティクス	74
(3) メタボロミクス	74

(4) その他のオミクスアプローチ	75
5. マイクロバイオームに基づく診断とプレシジョン栄養の実際	75
6. おわりに	78

第3章 女性とプレシジョン栄養学

[緒形ひとみ]

1. はじめに	85
2. 女性ホルモンとライフステージ	85
3. 年代別の心身の状態とかかりやすい病気	88
(1) 思春期と性成熟期	89
(2) 妊娠前・不妊	98
(3) 妊娠期・産褥期	100
(4) 授乳期	102
(5) 更年期	102
(6) 老年期	103
4. 月経周期と妊娠時期の変化	104
5. おわりに	106

第4章 エネルギー消費量とライフスタイルの個人差を考慮した プレシジョン栄養学

[吉村英一]

1. はじめに	113
2. 食事量の個別化対応のためにエネルギー必要量（消費量）を 推定する	114
(1) ヒューマンカロリーメーター法	115
(2) 二重標識水法	115
(3) 年代別総エネルギー消費量	116
3. エネルギー代謝（基礎代謝量）の個人差	117
4. 日々の体重調節は、健康管理のために重要	120
5. 体重が増加しやすい季節の体重変動	121
6. 環境温度と身体活動量の関係	123
7. 週末における体重増加	124
8. エネルギー排泄率（消化・吸収率）の個人差の理解は 健康管理の精度を向上させる	126

9. ライフスタイルの日々の変化から考えるプレジジョン栄養学	128
10. 生活リズムと健康指標（血糖変動）との関係	132
11. 個人のライフスタイルをプレジジョン栄養学に組み入れるための 課題と今後の展望	135

第5章 プレジジョン栄養のためのウェアラブルデバイスの現状と展望

〔中江 悟 司〕

1. はじめに	139
2. ウェアラブルデバイスとは	139
3. なぜウェアラブルデバイスか	140
4. ウェアラブルデバイスによるエネルギー消費量の評価精度	143
5. ウェアラブルデバイスと生体指標計測	147
6. ニアラブルデバイスによる生体指標計測	150

第2編 プレジジョン栄養学の社会実装に向けて

第6章 プレジジョン時間栄養学の実践

〔田原 優〕

1. はじめに	159
2. プレジジョン栄養学の社会実装に必要なこと	160
(1) 自分自身を知る（計測・記録する）ツール	160
(2) 行動を変える（行動変容）ツール	162
(3) 行動を提案するための科学的エビデンス	165
3. 食事管理アプリ「あすけん」を用いた研究	166
4. 研究利用としてのメリット・デメリット	167
(1) アプリ内での栄養計算方法	167
(2) アプリ利用者の特性	168
(3) 食事データの欠損値	170
(4) ビッグデータとしての価値	171
(5) 臨床試験での利用	172
5. 体内時計の個人差「クロノタイプ」と関連する食習慣	173
6. 1日の食べ方と体重変化、血圧との関連	177
7. あすけんアプリへの時間栄養学実装	180

8. 時間栄養学の社会実装の限界	182
9. おわりに	183

第7章 EBN(Evidence Based Nutrition)によるプレジジョン栄養学の実装

——糖尿病に対する個別化食事指導 [大村有加]

1. 栄養疫学とEBN	187
2. プレジジョン栄養学——Personalized nutritionと行動変容	194
3. 食事摂取情報を調べる——食事調査	196
(1) 短期間の食事を精密に算出する方法—食事記録法と24時間思い出し法	197
(2) 長期間の習慣的な食事を調べる方法	
—食物摂取頻度調査法 (FFQ) と食事歴法	198
(3) 妥当性 (精度) の検証	199
(4) 測定誤差	200
(5) 生体指標 (バイオマーカー)	200
(6) 陰膳法	201
4. 糖尿病治療における食事療法	202
5. プレジジョン栄養学の実装——糖尿病に対する個別化食事指導	205
(1) 簡易型自記式食事歴法質問票 (BDHQ)	206
(2) メタエビデンスを集約した個人結果票	208
(3) 個別化食事指導の効果	209
6. おわりに	210

第8章 睡眠とプレジジョン時間栄養学 [大石勝隆]

1. はじめに	215
2. 睡眠覚醒制御のメカニズム	215
3. 睡眠の加齢変化や性差	217
4. 生活環境と睡眠	219
(1) 光	219
(2) 温湿度	220
(3) 音楽	221
(4) 運動	221
5. 時間栄養学と睡眠	222

6. 機能的食品成分と睡眠	224
(1) アミノ酸	224
(2) カロテノイド類	227
(3) ポリフェノール	227
(4) 乳酸菌・酵母	228

第9章 プレシジョン栄養実践へのメニュー提案システムの構築

〔内田友乃・阪野朋子・池田彩子・小田裕昭〕

1. はじめに	237
2. 個人の「類型化」	239
3. 「N式パーソナル食事摂取基準」活用による「個人対応栄養素基本 テーブル」の作成	240
4. パーソナルDRI健康食の作成——食事摂取基準の食生活への「翻訳」	243
(1) パーソナルDRI健康食の提案	244
(2) パーソナルDRI健康食の調理と喫食	249
(3) パーソナルDRI健康食の学生の評価	251
(4) 一般社会人を対象とした実践活動	252
5. 個別化栄養を实践するメニュー提案システムの構築	255
6. メニュー提案システムの個別ディッシュデータベースの構築	257
7. おわりに	260

第10章 プレシジョン栄養学の世界の動向

〔加藤久典〕

1. はじめに	263
2. ニュートリゲノミクスとプレシジョン栄養学	263
3. プレシジョン栄養学の動向	265
(1) 関連学会や組織について	265
(2) 研究の動向	267
(3) 将来の展望	268
4. おわりに	270

索引	273
----	-----

序章 プレシジョン栄養学の現状と展望

小田裕昭*¹, 阪野朋子*², 内田友乃*³, 池田彩子*⁴

1. はじめに

健康で健やかな加齢, 生活の質 (quality of life : QOL) の高い生活, ウェルビーイングに貢献できる食事や栄養を求められる時代になってきた。それに答える栄養学が個人対応型栄養学 (個別化栄養学), またはプレシジョン栄養学である。個別化栄養学の必要性が唱えられるようになってから久しい¹⁾。当初はヒトゲノムプロジェクトが終了し, ゲノム解析を通して個人の特性をはっきりとさせる研究が主であった。個別化栄養学は, これまでオーダーメイド栄養学, テーラーメイド栄養学ともいわれてきた¹⁾。本書のタイトルにもなっている「プレシジョン栄養学」という言葉も, まだ十分に知られていないが, 最新の技術を使って個別化栄養をさらに精密にしようと試みる個人に最適化された個別化栄養学である。

従来, 集団を対象とした一般化された (「集団対応型」) 食事ガイドラインが世界中で策定されてきた。日本では主に集団に対応した『日本人の食事摂取基準』がある。これらのガイドラインは, 従来知見を個人に当てはめる演繹的なものであった (「ルール指向型」)。これはオーダーメイドに比べると, フリーサイズ (one-size-fits-all) の栄養学ということもできる。これらのガイドラインは成功を収め, 世界中で平均寿命の延伸が可能となった。集団を対象とするガイドラインは, 特に栄養素が不足していた「不足の栄養学 (不足に対応した栄養学)」の有効な手段であった。しかし, 生活習慣病やメタボリックシンド

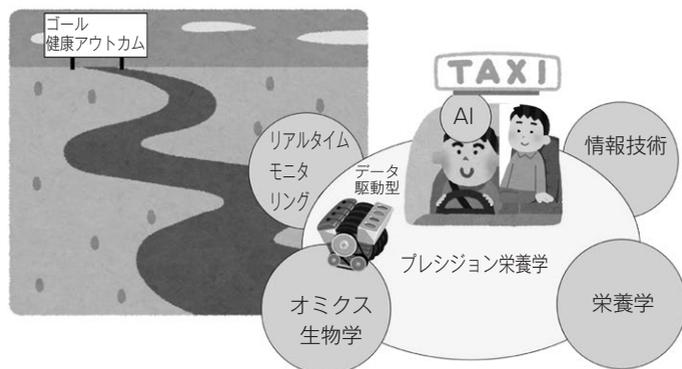
* 1 名古屋大学大学院生命農学研究所, * 2 名古屋女子大学短期大学部, * 3 愛知学泉大学家政学部, * 4 名古屋学芸大学管理栄養学部

2 序章 プレジジョン栄養学の現状と展望

ロームなどが問題となる「過剰の栄養学（過剰に対応した栄養学）」の時代が変わってから、この集団を対象とした食事ガイドラインの有効性には疑問が呈されるようになり²⁾、『日本人の食事摂取基準』では2015年版ではじめて生活習慣病の重症化予防に対応するようになった。そして、現在「最適化の栄養学」が求められるようになっている。

プレジジョン栄養学は、例えば「健康」というアウトカム（成果）を目指して（「アウトカム指向型」）、集められたビッグデータをコンピュータにより計算して、新たなルールを作っていくものである（「データ駆動型」）（図序-1）^{3,4)}。ビッグデータで得られる個々のデータは些細であり、そこに既存のルールはなくても、そこから人工知能（artificial intelligence：AI）技術などの力を借りて、将来の疾患の蓋然性や予防のための栄養を探り当てる（ルールを作る）ことになる。

プレジジョン栄養学を「データ駆動型」にするための科学・技術の進歩には著しいものがある。生物学的にはオミクス生物学といわれるような網羅的解析、ゲノム、トランスクリプトーム、プロテオーム、メタボローム、マイクロ



図序-1 プレジジョン栄養学の概略図

あなたがプレジジョン栄養学タクシーに乗り込めば、最新科学・技術の4輪を備え、データがエンジンとなって駆動して（「データ駆動型」）、AIが運転手となって、あなたにずっと「寄り添い」健康アウトカムまで連れて行ってくれる（「アウトカム指向」）。もし自分自身で運転する場合は、カーナビがプレジジョン栄養学の役割をしてくれる。たとえ道を間違えた場合でも、寄り道をした場合でも、新たな道を教えてくれて、あなたを健康アウトカムまで連れて行ってってくれる。

バイオーム（腸内細菌，p.14参照）などである。また，それを処理する情報技術，通信技術，AIの進歩とあいまって，個人対応するプレシジョン栄養学の基盤ができるようになってきた。プレシジョン栄養学は，単なる新しい分野というより，栄養学の考え方を大きく変化させるパラダイムシフトのようなものである（図序-1）。

2. プレシジョン栄養学が求められる背景

ほぼすべての必須栄養素は20世紀半ばには決められ，エネルギーや栄養素の不足による疾患は理論上解決された。主に先進国では，十分な食料供給もできるようになり，世界の平均寿命は劇的に伸びることとなった。この「不足の栄養学」では，エネルギー・栄養素を十分満たすことがバランスのよい食事であった。ところがすぐに栄養過剰の時代になり，肥満や生活習慣病が問題視されるようになった。栄養が満たされるに伴い，違った意味の栄養のバランスが注目されるようになり，エネルギーや飽和脂肪酸を多く含む食品の摂りすぎを抑えるような政策が行われた。「過剰の栄養学」では，特定の栄養素に偏らず，まんべんなく栄養素を摂取して，食べすぎないことがバランスのよい食事であった。また，食品に含まれる栄養素以外の非栄養素に健康機能が見いだされるようになり，機能性食品の研究が進み，生活習慣病の増加を予防しようと試みられてきた。これらが一定の成功を収めている一方で，肥満やメタボリックシンドロームが増えるなど皮肉な状況も生まれた⁵⁾。「不足の栄養学」に効果的であった「集団対応型」栄養指導も，「過剰の栄養学」にうまく対応できていないことが指摘されるようになった²⁾。そして求められているのが，「最適化の栄養学」である。個人差が大きいことが認識されるようになり，個人の「体質」にあった食事が必要だと広く認識されるようになった。したがって，一律な指導では限界もあり，その人にあったおいしい健康食が求められるようになった。

メタボリックシンドロームや生活習慣病は食事を主たる原因としているが，

4 序章 プレジジョン栄養学の現状と展望

他の多因子の疾患概念であり、食事だけでは対応が難しい。したがって、「最適化の栄養学」では、栄養だけでなく、食生活のあり方、生活活動などの生活スタイルも考慮しなければならず、複合的な多因子を同時に考えなければならなくなった。そして、エネルギー・栄養素の過不足だけでなく、生活活動の強度、積極的な運動、睡眠、ライフステージも含めた総合栄養学として捉える必要が出てきた。

すでに述べたように、オミクス生物学の進歩の中で、腸内細菌の重要性は特筆すべき進歩である。経験的にはわかっていたことであるが、体外である腸内細菌が1つの臓器ほどの重要性を持っていることがわかった。また、同じ食事を同じ量食べたとしても食べるタイミングによって、健康にも不健康にもなることがわかった。これが時間栄養学である。それ以外にも咀嚼や孤食（個室）など誰と食べるか、生活不活動での食事など、「食スタイル（食の5W1H）」を考える食べ方の分子栄養学も新たな知見を提供するようになった。

日本の食生活に目を向けると、平均寿命が世界でもトップクラスになり、日本食の健康効果に世界から関心が集まるようになった。日本食は和食としてユネスコ無形文化遺産に登録され、健康的な食事とともに日本の食文化が注目を浴びるようになった。

日本食は魚介類や植物性の食材が多く、ポーションサイズも小さいため健康的だと思っている人も多い。しかし、現代の日本人は必ずしも理想的な食事をしているわけではない。以前から指摘されているように、食塩が過剰である状況は変わっていない。また、食物繊維とカリウムが不十分であり、一部のビタミン摂取量が十分でないことが指摘されている。平成30年国民健康・栄養調査によると、日本人の1/6～1/5は糖尿病が強く疑われている。特に男性では肥満が増えている。摂取エネルギーは若干減っているにもかかわらず、この現象が起きている。日本食は健康的であると考えられるが、日本人が実際に食べているものが必ずしも健康食であるとは決していえない。

食塩については、摂り過ぎが血圧上昇を引き起こすことはわかっている。日本における減塩は必ずしも成功していない。摂取量は減少傾向であるが、エネ

ルギー摂取の減少と連動したためと考えられている。さらに、食塩摂取と血圧には個人差が非常に大きいこともわかっている。日本人はもともと太りにくい体質であることが指摘されているが、痩せていても糖尿病が疑われる人が多くなっている。これも、いわゆる個人の「体質」と食事の関係によるものかもしれない。さらに、現代の食べ方（「食スタイル」）の変化が大きく影響している可能性もある。それぞれの人が健康になるためには、その人の「体質」などを考慮して最適化された食事の質と量だけでなく、食スタイルの最適化が重要なのだらうと考えられる。プレシジョン栄養学がもたらす「最適化の栄養学」は、個人の「体質」だけでなく、ライフスタイル、食の嗜好性、趣味など多様な因子を含む栄養学となる。

3. プレシジョン医学

プレシジョン医学は、先制医学、先進医学、精密医学などと呼ばれているが、最新のゲノム情報を駆使して個人対応させた医療を主に指している。これはオバマ元米国大統領の一般教書演説によって広く知られるようになった⁶⁾。これが将来の医療が目指すものであり、米国が力強くこれを推進しようとしていた^{7,8)}。以前から特定の遺伝子の変異によって疾患が発症する遺伝病や、遺伝子に変異がある場合に特定の病気になりやすいケースが数多く調べられるようになり、医学の分野でも早くからゲノム情報と疾患との関係が調べられるようになっていた。

生活習慣病は遺伝因子と環境因子の両方が影響する疾患であるが、その程度は疾患によって異なることが示されている。さらに大規模なゲノムが調べられるようになり、一塩基多型 (single nucleotide polymorphism : SNP, スニップ) に代表されるようなわずかな遺伝子変異が環境因子と相互作用して、ある疾患へのなりやすさを決定することがわかった。いわゆるゲノム情報に由来する「体質」も膨大な数が調べられるようになってきた。現在では、「体質」だけでなく性格なども遺伝子で決められていることが調査によりわかってきている。