

《特別企画》

日本の歯科近未来に夢見る「3つの妄想」



大阪大学大学院歯学研究科
イノベーション・デンティストリー推進センター センター長・教授

十 河 基 文

●抄 録●

この度、執筆依頼をいただく中、筆者の特徴を考えると、恐らく①「大学人/研究者」であり、②「臨床」も行い、③「起業経験」と現在も「企業人」であるといった歯科業界ではちょっと変わり者のなところではないかと思う。

本稿ではそんな筆者が、「SDGsと歯科イノベーションロードマップ」に関連した視点にたって勝手な思いを3つ述べる。1つ目は「歯周病の1、2、3」、2つ目は「オーラルフレイル機器のスマホ化」、3つ目は「バイオ歯ブラシ」である。

筆者の妄想も含めた日本の歯科近未来に夢見る内容をご覧いただきたい。

キーワード：POCT、光殺菌、タブレット／スマートフォン、SaMD、バイオ歯ブラシ

I. はじめに

2015年の国連サミットにおいて加盟国の全会一致で採択され、2030年までの15年間「持続可能な開発目標」として「よりよい世界を目指す“国際目標”」、それが「SDGs」である。

本特集では「SDGsと歯科イノベーションロードマップ」に関連した視点にたった自由な執筆依頼を頂戴した。筆者以外に執筆される先生方と肩を並べるにはおこがましいが、もし筆者の特徴を見出すならば、小泉第一次内閣で発表された「大学発ベンチャー1000社計画¹⁾」の波に乗る形で2003年大阪大学歯学部発のベンチャーを起業したことであろう²⁾。

本稿では、現在「大学人/研究者」で、自慢できるほどではないが「臨床医」で、大学発ベンチャーの起業経験を持ち現在もなお大学に兼業許可を貰って活動している「企業人」としての筆者が、直近のこの約10年間で考えてきた内容を3つご紹介したい。SDGsの「17のゴール」でいうと、1つ目と2つ目は医療と

して当たり前の「3. すべての人に健康と福祉を」にあたり、3つ目は「13. 気候変動に具体的な対策を」「14. 海の豊かさを守ろう」「15. 陸の豊かさを守ろう」などにおいて「歯科から何が出来るか」を考えた内容である。

II. 1つ目「歯周病の1、2、3」

1つ目は「歯周病」である。筆者が起業したきっかけは、インプラントの術前検査としての「CT」に魅せられたことである。しかしインプラントは約68,000軒ある日本の歯科医院全てで行われている訳ではない。そこで「より多くの歯科医院の役に立ちたい」という思いから、次に注目したのが「歯周病」である。筆者が考えているのは、(1) 診査（検査）・診断、(2) 院内治療、(3) ホームケアの「歯周病の1、2、3」である（図1）。

(1) 臨床即時検査（POCT）

歯周病検査は、プロービングによる「歯周ポケット



図1 筆者の考える「歯周病の1, 2, 3」のイメージ
「臨床即時検査 (POCT)」と「光殺菌」と「就寝前のOD錠1粒」

Fig. 1 Periodontal disease total system ; 1) Point of Care Testing, 2) antimicrobial photodynamic therapy, 3) OD one tablet before sleeping

の深さ」とその際の「出血」を診ることが最も確かな診断法だということは周知である。しかし患者にとってプロービングは痛く不快で、検査結果のチャートを患者に見せても「痛い思いしたのにこれだけの説明？」と思われているのではないかと筆者は感じてきた。

そんな中、今春（2022年4月）、口腔内の不潔度を示す精密検査として「細菌カウンター」が保険収載された³⁾。しかし、「口腔内の汚れ」を示すだけでは十分な歯周病検査とはいえず、「口腔内の細菌叢」である菌種・菌層、菌数を把握することこそが歯周病検査として重要である。そのため新型コロナで一般人さえも口にできるようになった「リアルタイムPCR」などで①口腔内の総菌数、②悪玉3菌であるred complexの各々の菌数、③中でもたちの悪いPg菌のII型の菌数を把握すること⁴⁾が歯周病検査には重要である。

現在、唾液や歯周ポケットなどから採取した検体を郵送して、リアルタイムPCRを行い1週間後に各菌の菌数結果が送られてくる「細菌検査サービス」がある。しかし1週間後に結果を聞くだけの再来院は患者にとって面倒である。また急性症状や重篤な歯周病の場合、その場で菌種を特定できれば適正なスペクトルの抗菌剤を選択できるが⁵⁾、検査結果が1週間後にしかわからなければ広域スペクトルの抗菌剤を選択する

ことになり薬剤耐性菌を作りかねない。そこで筆者は歯周病の細菌検査は診療時間内に、それもできれば15分くらいで結果がわかるいわゆる「POCT (Point of Care Testing、臨床即時検査)」が理想的だと思っている。

(2) 光殺菌

歯周検査の後、通常「スケーリング・ルートプレイング (以下、Sc/Rpと略)」といった物理的感染源除去の治療が行われる。筆者が学生の頃、Sc/Rpは「初期治療」といわれていたが今では「初期だけ」と誤解をされないためか「基本治療」と言われるようになった。しかしSc/Rpを行っても根分歧部など見えない部分には感染源の取り残しがあり、また急性症状や重篤な歯周病の場合などを含めてSc/Rpの後に補助的な治療法として歯周ポケットへの「テトラサイクリン系抗生物質軟膏の注入」を行うことがある。しかし、局所投与だからといってむやみに抗菌剤を使うべきではない。そんな中、2005年あたりから欧州を中心に歯周ポケットへの抗菌剤注入の代替治療として「光殺菌治療」が臨床の現場に現れた⁶⁾。

歯周病における光殺菌治療は、医科におけるがん治療の「光線力学療法」と同じメカニズムで、対象となる病変に選択的な攻撃を行い健康な組織へのダメージ

を与えない治療法といわれている。対象となる「細菌」の細胞壁に光増感剤を塗布して、光増感剤の吸収スペクトルに合った波長の光やレーザーを照射する。光の照射により活性酸素の1つである「一重項酸素」を瞬間的に発生させて細菌の細胞壁だけを破壊する殺菌治療である。菌交代現象による下痢などの副作用もなく、薬剤耐性（AMR）対策にもなりえる。

また歯周病の実験モデルではないが光殺菌は、ネズミの膝関節にMRSA（メチシリン耐性黄色ブドウ球菌）を感染させた基礎実験で「好中球の遊走」といった免疫療法的な作用が確認されている^{7,8)}。詳細な説明はここでは割愛するが、「好中球の遊走」の臨床的意義は2つあり、1つは長期ではないものの一定期間「継続的な殺菌効果」があること、またもう1つは「予防的な殺菌効果」が示されている。まさにこの2つの効果は慢性疾患であり、また3～4か月毎の定期的なメンテナンスが重要な歯周病治療に適している。

2013年AMED（国立研究開発法人日本医療研究開発機構）が設立される前、経済産業省の「課題解決型医療機器等開発事業」に筆者は「光殺菌装置の開発」で助成金の採択を受けた⁹⁾。しかし欧州とは異なり日本では「新医療機器」と「医薬品」の両方の治験が必要なため薬事法のハードルは非常に高く、いまだ「道半ば」である。

(3) 寝る前に1粒

歯周病は歯科医院での定期的なプロケアの合間に、日々自宅でのメンテナンスももちろん重要である。筆者は従来からあるブラッシング/フロッシング以外に「何かもう1つ味付けがあると面白い」と思い発想したのが就寝前のOD錠やトローチ錠の「大粒タブレット」である。全くの夢物語ではあるが、就寝前に毎晩1粒タブレットを舐めることで就寝中の口腔内の健口を維持する。そして歯科医院に3カ月に1度は定期的な通院をしてもらうためにタブレットは93粒入りで、歯科医院専売品をイメージしている。

以上の(1)「POCT」、(2)「光殺菌」、(3)「寝る前に1粒」が筆者の夢見る「歯周病の1、2、3」である。

Ⅲ. 2つ目「オーラルフレイル機器のスマホ化」

2つ目は「オーラルフレイル」である。1つ目の「歯周病」は言い換えると「オーラルケア」。「オーラルケア」と「オーラルフレイル」は表裏一体で、口腔内が汚れていると口の動きは悪くなり、口の動きが悪いと口腔内は汚れる。

(1) 医療機器のスマホ化

筆者が若かった平成の頃、当時自分の子どもの愛くるしい表情・動作を「今すぐ撮影したい」と思ってカメラやビデオをケースから取り出している間にその瞬間は終わっていた。しかし今であれば手元にあるスマホで直ぐに撮れる時代となった。そんなスマホは電話やカメラなどに留まらず、簡単に使える様々な機能を搭載するようになった。

昨今、医療機器においてもスマホやタブレットを使った応用が進みつつあり、ソフトやアプリ単体に対して「医療機器プログラム（SaMD：サムディー、Software as a Medical Device）」といった新しい定義が生まれた。

(2) 具体例

筆者の研究の1つに「顎運動装置（咀嚼運動検査）」のスマホ化がある。まさに既存装置では顎運動採得の「準備」や「実際の計測」が非常に面倒で、在宅診療で使いたくてもパソコンを含めた装置の持ち運びが不便なことが研究を始めるきっかけとなった。

また「咀嚼運動検査」と双壁を成す検査が、噛み砕いたグミゼリーの粉碎状態を見る「咀嚼能力検査」である。日本の薬事法において医療機器は、「一般的名称」と呼ばれるカテゴリーが定義づけられている。これまでグミゼリーの粉碎性を見る検査装置は血液中の糖（ブドウ糖）濃度を測定する一般的名称「グルコース分析装置」¹⁰⁾だった。しかし近年「咀嚼能力検査用物質」といった一般的名称が新規に作られ¹¹⁾、「吐出した粒子数等を計測することで咀嚼能力を検査する。吐出物を撮影するためのカメラ及び粒子数を測定するためのプログラムを含むこともある。」と定義された。まさにスマホによる写真撮影が医療機器として採

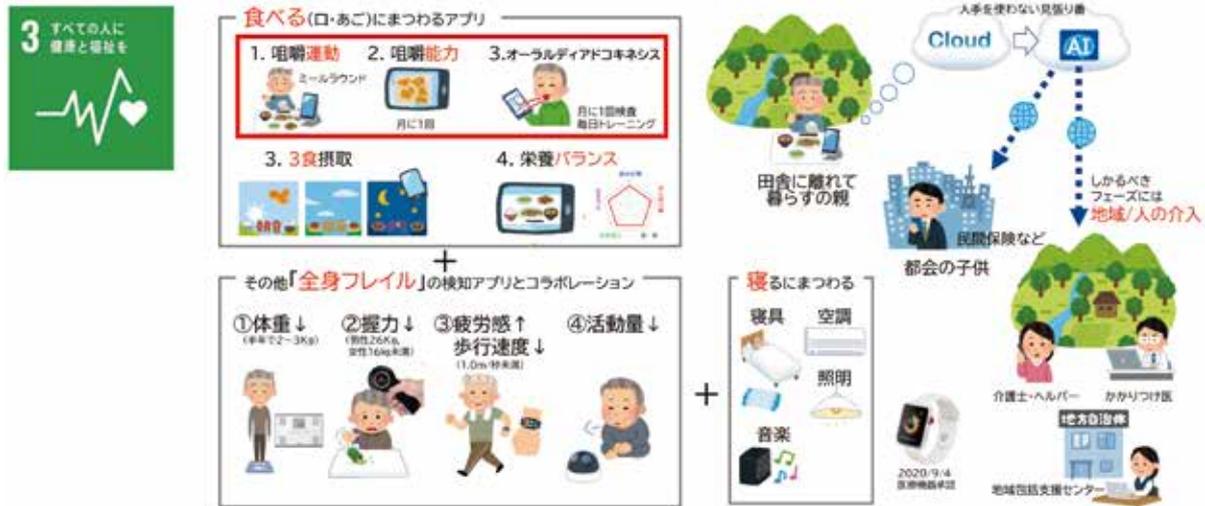


図2 筆者の考える「AI見守り・地域包括ケアシステム」
 スマホアプリの民生化でフレイル初期に人的介入をして健常に戻すシステムを構築する

Fig. 2 Community-based comprehensive care system by AI smartphone

用されている。

また、歯科医師会やメーカーからスマホの音声認識機能を用いて「オーラルディアドコキネシス」のソフト/アプリ^{12, 13)}もあり、今後もオーラルフレイル関係のスマホ検査が増えていきそうだ。

(3) 民生化

筆者の考える医療機器のスマホ化のメリットは「お手軽」で「簡単」というだけでなく、医療機器に留まらず「民生品（ヘルスケア製品）」に応用できるところにある。エビデンスのある医療機器を元にした民生品の信頼性は高く、また「予防」「未病」といった考えが広まりつつある昨今、医療従事者でなくとも購入ができて使える「ヘルスケア製品」は国民の身近な存在になるため市場性も広がる。

例えば顎運動装置の民生品なら、食卓上にスマホを立てることで普段の食事風景を撮影できるいわゆる「ミールラウンド（食事の観察）」ができる。食事にかかる全体の時間だけでなく、嚥下までの咀嚼回数、咀嚼時間、咀嚼スピード、咀嚼運動パターンなどを日々記録し、AIがその変化を感知することで人手が不要な「高齢者AI見守りシステム」になりえる。もし田舎に1人で暮らす親に「オーラルフレイル」がはじめにあり「全身のフレイル」の兆しが見えれば、都会に

住む子どもにAIから連絡が来るだけでなく、同時に地域の介護者・ヘルパー、かかりつけ医、さらには自治体などにも連絡が届き、その後しかるべき「人的介入」を行うことで「フレイルの初期状態」から「健常」にいち早く戻すことが可能になるはずだ。筆者はそんな行政を含めた「AI見守り・地域包括ケアシステム」の構築を目指しており、現在、大阪府下のある自治体の地域プロジェクト（「健都」の「産学官民の共創」の「オーラルヘルス研究会」^{14, 15)}）を立ち上げたところである（図2）。

IV. 3つ目「バイオ歯ブラシ」

さて最後はSDGs13~15の「環境問題」において、「歯科から何が出来るか」を考えた筆者の思いを述べる。

日本のようにゴミ焼却炉が充実している国では「実際には問題にならない」ともいわれるが、国民の「脱プラ」意識を持たせるためか2020年7月コンビニのレジ袋が有料化し、さらにこの2022年4月には「プラスチック新法」が施行された。そんな「特定プラスチック使用製品」の12品目の中に「歯ブラシ」が記載されている。筆者も5年ほど前から「歯科の“脱プラ”は歯ブラシだ」と思ってきた。

(1) バイオプラスチックとは

バイオプラスチックは2つに大別され、1つは微生物によって生分解される「生分解性バイオプラスチック」、もう1つは動植物由来の再生可能な「バイオマスプラスチック」である。「生分解性バイオプラスチック」は焼却処理をする必要がなく、仮に意図せず環境中に排出されても自然に分解されるので海洋プラスチックごみの削減などに貢献できる素材である。しかし自然界の微生物や酵素が不可欠で、海洋や土壌の中では生息する微生物の種類や密度が異なるため万能な生分解性プラスチックはいまだ存在しない。一方、「バイオマスプラスチック」は生物由来の原料である。トウモロコシやサトウキビなどの「非可食部分」から作られゴミとして燃焼する必要はあるものの、原材料の植物が育成過程で行われる光合成によってCO₂を吸収するため、結果的に地球温暖化の原因となるCO₂の排出も抑えることができるいわゆる「カーボンニュートラル」を実現するプラスチックとして注目されている。

(2) ハンドルだけ十分だが「毛先」も

日本バイオプラスチック協会の「バイオマスプラスチック分別表示制度」では、製品の重量比25%以上のバイオマスプラスチックを含むと基準を満たす。そのため、歯ブラシの柄（ハンドル）だけを「バイオポリプロピレン」にしても認定されるだろう。しかし筆者は歯ブラ

シの毛先も「バイオナイロン」にすべきだと思っている。

(3) 問題は価格

恐らく日本の各歯ブラシメーカーも、「バイオ歯ブラシ」は数年前から検討しているだろう。実際、Google検索で「バイオマスプラスチック」「歯ブラシ」と入力すると多くの製品が散見される。しかしCMなどでよく目にする大手メーカーの名前は見当たらない。見当たらない理由について筆者は、ヒアリングをした訳ではないが「コスト問題」「事業性」だと思っている。市販の歯ブラシ価格が50~200円の中、「バイオ素材」にするとストリートプライスは恐らく10倍以上なるだろう。仮に1本2,000円の場合、誰がそのような高価な歯ブラシを買うだろうか。そのため「環境に優しい」と分かっている、なかなか販売には至らないのではないかと考えている（大阪人特有の言葉「知らんけど」ですが）。

(4) ではどうするか

出来る/出来ないはさておき、筆者は「バイオ歯ブラシに歯科業界全体が関わることで“脱プラ”に取り組めないか。」と出てきた。大手歯ブラシメーカーで一番売れている歯ブラシの金型を1種類だけ使うことに各メーカーのご協力を仰ぎ、バイオ素材の供給は



図3 筆者の考える「バイオ歯ブラシ」のロゴのコラボ（架空）
メーカーと大学、メーカーと地域歯科医師会のロゴを入れた歯ブラシ

Fig. 3 Bio-eco toothbrush with logos of University or Dental Association

全メーカーが共通して使えるように一元化することでコストダウンをはかる。具体的な材料として、ハンドル部分は「ポリ乳酸」を主成分に「しなる/折れにくい」成分として杜仲茶から抽出される「トランス-1,4-イソプレン」などを混和する。また毛先部分は「バイオナイロン」を使う。

マーケティングでは国民に「このバイオ歯ブラシは確かに高級歯ブラシです。」と正直に案内するものの、「しかし歯科業界から“脱プラ”を目指した製品です。」「まずは年に1本だけご購入ください。」「年に1本、全国民にお使い頂くことで日本の“脱プラ”を少しでも進めることができます。」「また購入の本数が増えると当然価格も下がる可能性があります。」などと広告宣伝費はかかるもののTVやYoutubeなどでCMを流し、インスタグラムやTikTokも利用する。またメーカーだけに任せるのではなく、各歯ブラシメーカーとのコラボレーション製品として、「〇〇社」×「29歯科大学・歯学部の各大学」や、「〇〇社」×「日本歯科医師会や各都道府県歯科医師会」といったロゴ印字などをハンドル部分に行い(図3)、販売する商流も含めて歯科業界全体でSDGsに貢献できないかと筆者は勝手に夢を妄想している。

V. 最後に

お恥ずかしい話、日本の歯科における近未来に、筆者の夢見る「歯周病の1、2、3」「オーラルフレイル機器のスマホ化」「バイオ歯ブラシ」の3つを徒然に述べさせていただいた。

参考文献

- 丸山正明：独立系ベンチャーキャピタルを創業し続けています, 日経XTECH, <https://xtech.nikkei.com/dm/article/COLUMN/20100520/182744/>, 2010.05.20.
- 十河基文：iCAT創業趣意書, <https://www.icatcorp.jp/company/purpose.html>, 2003.11.11.
- 厚生労働省資料 医療技術評価提案書(保険未収載技術用), 432101口腔バイオフィルム検査, 特定非営利活動法人日本歯周病学会, pdf 59-62, <https://www.mhlw.go.jp/content/12404000/000851143.pdf>
- 天野敦雄：「健口」を考える 口からの健口, 関西労働保険協会, VOL85, 4-22, <https://www.krk-osaka.or.jp/about/file/9/99.pdf>
- 特定非営利活動法人日本歯周病学会(編)：10 抗菌薬使用にあたり必要な細菌検査および歯周検査 表14, 歯周病患者における抗菌剤適正使用のガイドライン2020, p14-15. http://www.perio.jp/publication/upload_file/guideline_perio_antibiotic_2020.pdf, 2020.10.
- Konopka K, Goslinski T : Photodynamic Therapy in Dentistry, *J Dent Res*, 86(8) : 694-707, 2007.
- Masamitsu Tanaka, et al. : Photodynamic therapy can induce a protective innate immune response against murine bacterial arthritis via neutrophil accumulation, *PLoS One*, 2012 ; 7(6) : e39823. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22761911/>, 2012 Jun.
- Zulaziz N, et al. : Photodynamic therapy mediates innate immune responses via fibroblast-macrophage interactions, *Hum Cell*, 2015 ; 28(4) : 159-166. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25997703/>
- 平成25年度の経済産業省の課題解決型事業に13事業が採択, Medtec Japan, <http://www.medtecjapan.com/ja/news/2013/08/13/903>, 2013/08/13
- グルコース分析装置, https://www.std.pmda.go.jp/scripts/stdDB/JMDN/stdDB_jmdn_resr.cgi?Sig=1&Select=1&jmdn_no=936&kjn_no=0
- 咀嚼能力検査用物質, https://www.std.pmda.go.jp/scripts/stdDB/JMDN/stdDB_jmdn_resr.cgi?Sig=1&Select=1&jmdn_no=4402&kjn_no=0
- 毎日パタカラ, Sunstar Inc., <https://apps.apple.com/jp/app/%E6%AF%8E%E6%97%A5%E3%83%91%E3%82%BF%E3%82%AB%E3%83%A9/id1419417759>
- くちけんアプリ, 群馬県桐生市歯科医師会, https://www.kirishi.com/?page_id=1569
- 健都共創フォーラムから2つの研究会を立ち上げました!, 健都ホームページ, <https://kento.osaka.jp/news/9314/>, 2021.8.31.
- 第1回オーラルヘルス研究会, 健都ホームページ, <https://kento.osaka.jp/co-creation/workshop-oral01/>, 2021.9.14.

Three Dreaming Delusions of the Near Future of Japanese Dentistry in SDGs

Professor, Center for Innovative Dentistry, Graduate School of Dentistry, Osaka University

Motofumi SOGO, D.D.S., Ph.D.

Perhaps the characteristics of the author are (1) "University academian", (2) "clinician", and (3) "entrepreneurial experience" and still "business man", which is a bit strange person in the dental industry.

The author describes three selfish thoughts from the perspective related to the "SDGs and Dental Innovation Roadmap." The first is "1, 2, 3 of periodontal disease", the second is "smartphone conversion of oral frailty equipment", and the third is "Bio-toothbrush".

Please see what I dream of in the near future of Japanese dentistry, including my delusions.

Key words : POCT, a-PDT, tablet/smartphone, SaMD, Bio-toothbrush