

フッ化物応用までの初期の歴史

神原正樹

Early history of fluoride application

Masaki Kambara

キーワード：フッ化物、初期歴史、う蝕、Mckay、Dean

要旨

フッ化物の応用により、人類のう蝕の減少を実感できる時代を迎えている。う蝕にフッ化物が有効であるとのエビデンスを得ることができたのは、わずか120年前の歯科関係者だけでない先人の努力による。この初期のう蝕抑制に効果があることの知見を得るに至る物語を、現代に生きる我々は忘れてはいけないとの意識で記述した。

1. はじめに

12歳児の一人平均う蝕数が1本を下回るようになり、将来的にう蝕のない口腔を獲得できる時代を迎えている。フッ化物配合歯磨剤、フッ化物洗口、上水道フッ化物濃度調整など多様なフッ化物の応用がう蝕予防に果たしてきた役割は大きい。高江洲¹⁾が記述しているように、フッ素 (fluorine) とフッ化物 (fluoride) との相違、フッ素元素の発見が1886年フランス・パリ大学の薬理学教授ア

ンリ・モアッサン (Henri Moissan)²⁾により初めて単離され、1906年のノーベル化学賞を受賞したことを理解しておく必要がある。

フッ素元素の発見からフッ化物のう蝕予防への応用が始まるまでの歴史は、わずか120年前から数十年の先駆者の苦勞の物語があり、このことが現在のう蝕予防を実感できる時代を迎えていることにつながっており、この初期の物語の一端をここに紹介する。

2. 歯牙フッ素症 (dental fluorosis、斑状歯； Mottled tooth) 気づきから探索

フッ化物が歯牙フッ素症の原因であることの究明は、Frederic S Mackay (1874~1959)³⁾の存在が大きい。彼がPennsylvania大学卒業後にColorado Springsでdental assistantとして働いているときに、白色と褐色の点とその程度のひどい多数の歯の存在に気づき、このColorado Brown

【著者連絡先】

〒550-0015 大阪府大阪市西区南堀江1-10-11
西谷ビル本館406号

神原グローバルヘルス研究所

神原正樹

TEL&FAX：06-6539-5477

E-mail：mkamba096@gmail.com

受付日：2020年5月1日 受理日：2020年5月20日

Stainの究明を生涯続けたことが始まりである。

ここで彼の履歴を紹介する。Massachusetts州、Lawrenceに1874年4月13日に生誕し、MilfordおよびBostonの公立学校に通い、当初ミュージシャンになることを望んでいてバンド活動を行っていたが、健康上の問題（結核）で断念せざるを得なくなる。そこで、Coloradoに移り静養後、再びMassachusettsに戻り、いろいろな仕事や路面電車のコンダクターとして働いていた。1897年一念発起し、歯科医師になるべくBoston Dental College（後にTufts大学歯学部）に入学、junior yearをPennsylvania大学に移り修学、1900年6月に卒業した。卒業時、各仕事と歯学部での勉強、さらに体の問題で倒れそうになるほど疲れ果てていたようである。そこで、夏季を姉妹の家で回復に努め、その後、健康上の理由でColorado Springsに行くことになる。

1901年にColorado Springsに到着、月75ドルで歯科医として働きだす。そこで、多くの患者の歯に、白や褐色のスポット、ひどい場合はエナメル質が凹状を示していることに気づいたが、同僚の歯科医師はその原因と審美的解明には無関心であった。

1905年Dr. Mckayは、歯科矯正学に興味を持つようになり、St. Louisに移り、研修を始める。St. Louisでも褐色歯の存在が多く見られ、研究を継続していたがその答えは見つからなかった。

1908年健康上の理由でColorado Springsに戻り、歯科矯正の臨床に従事する傍ら、Colorado Brown Stainの研究を継続していた。1909年に委員会を設置し、2945人の学童の歯科検診を行い、87.5%に斑状歯を検出し、その子供らはPikes local地区に居住していた。その頃の着色の原因の諸説は、貧困による、豚肉あるいはこの地区の牛のミルクの過剰摂取、ラジウムによる、あるいは飲料水中のカルシウム欠乏によるなど多種多様であった。

そこで、Dr. Mckayは歯科研究者の助けを得るため、当時、アメリカのエナメル質の権威であったChicagoのNorthwestern大学歯学部の学長のDr. Greene Vardiman Black（日本では歯科保存学の

ブラックの窩洞で有名）にコンタクトした。最初、Dr. BlackはDr. Mckayが何か誤っている、例えば未知のう蝕の一種であると考えていて、斑状歯を数本送るよう要請している。1909年Dr. BlackはColorado歯科医師会の会合に出席するため、Colorado Springsに出向き、数週間滞在し斑状歯が存在することを認めることになる。その際、Dr. Mckayは先の検診結果を示し、また、Dr. Blackは斑状歯の組織学的検査を行い、次のように記載している。An endemic imperfection of the enamel of the teeth is unknown in the literature of dentistry. (Black, 1916)^{4, 5)}

しかし、この所見にもかかわらず、多くの歯科医師はこのことに興味を示すことがなく、Dr. Mckayのみが継続して研究を続けていた。そこで、多くの地域での調査をするため、Pueblo, Manton, La Junta, Cripple Creek, Woodland Park, Green Mountain Fallsに出むき、調査を行ったところ、彼の考えていた範囲をはるかに超えた広い地域にColorado Brown Stainが及んでいることが明らかになった。そこで、彼は他の領域や世界の文献検索を行ったところ、1912年にイタリアのナポリ地方で着色歯が記載されている文献を見つけた。この論文で、Dr. J. M. Eagerはアメリカの海洋病院の外科医であったが、ナポリで乗船するイタリア移民の人に高い割合でdenti di Chiaieとして知られている歯の問題を持っていると記述していた (Eager, 1902)⁶⁾。この中で、この原因として、火山性の煙霧が飲料水を汚染したためであろうと推察していた。Dr. MckayはColoradoの若い歯科医師が休日にイタリアへ行く旅行計画があることを知り、ナポリの子供の口腔内診査をしてきてくれるように頼んだ。彼はColoradoの着色歯をよく知っていたので、彼の眼は確かで、ナポリの着色歯がDr. Mckayの研究している歯と同じであることは間違いないと手紙に書いて寄こしている。

Dr. Mckayは、ますますこの歯の原因を知りたいと熱望していた。すなわち、斑状歯の原因を明らかにすることにより予防手段を見つけることであった。また、この歯のう蝕罹患率が非常に低い

ことにも彼は気づいていて頭の片隅にあったようである。Dr. Mckayはこの歯の発生が限局した地域に多く見られることに気づいた。さらに、この地に育った子供に多く見られる一方、この地に2ないし3歳の時に居住し始めた子供には見られないことに気づき、最初この原因として食事を想定していた。Dr. Mckayは、この歯が発生するArkansasにおける数マイル離れた3つの町を観察し、これらの町が同じ水源、Fountain Creckを使用していることに気づいた。このことが、多くの報告にみられるように、飲料水の何かがこの歯に関係していると信じるようになっていった。

3. 歯牙フッ素症の原因が飲料水中のフッ化物であることの解明

飲料水仮説を支持する他の事実がある。South Dakotaの開業医から、彼の見ている子供の歯にDr. Mckayの記述した歯の特徴と似ていることから相談を持ち掛けられ、Dr. Mckayが当地を訪れたところ、1898年にこの町が使用している井戸が浅い井戸からより深く掘った井戸に変えられたことがわかり、この新しい井戸の飲料水を使用する人は正常な歯を保有し、他方、1898年以前からこの地に住んでいる人は、この歯を持っていることに気が付くことになる。そこで、Dr. Mckayは、飲料水中のある種の未知元素がこの歯の出現に関与していると結論付けた (Dr. Mckay, 1918)⁷⁾。

同様の発生が1901年アメリカのアルミニウム会社の子会社 (ALCOA) の従業員用の住宅地区、Bauxiteの町で見られた。Bauxiteの町の飲料水は、最初の浅井戸から、1909年に297フィートの深井戸に変えられた。1928年にアメリカの厚生省はWashingtonの健康局にBauxiteの子供の健康診査を行うよう通達し、1928年Dr. Mckayに医者事務官のDr. Gromer Kempfと一緒に診査を行うよう要請した。彼らは、1909年以前にBauxiteの水で育った人には斑状歯は見られないが、深井戸で育った人は全員斑状歯の発生が見られたため、Bauxiteの飲料水の分析が原因物質の解明に光を投げかけていると報告した (Kempf and Mckay,

1930)⁸⁾。

ALCOAの主任研究者であるPennsylvania州New KensingtonのMr H. V. ChurchillはKempfとMckayの論文を読み、衝撃を受ける。アメリカのある人々は料理にアルミニウム製食器の使用を非難している。ALCOAはBauxiteからアルミニウムの供給のほとんどを行っている。もし、Bauxiteの歯の着色の事実が、アルミニウム性の料理用食器が毒性を示していると主張している人々に渡れば、ALCOAは変えるように強えられるであろうし、製品不買につながり、賠償問題につながる可能性がある。そこで、ChurchillはBauxiteの水の広範囲な微量元素の分光分析を行ったところ、13.7ppmのフッ素が含まれていることが明らかになった。ChurchillはMckayに手紙を送り、飲料水中に高濃度のフッ素が検出されたこと、各地域の飲料水の送付を依頼する内容であった。集積された飲料水の分析結果は1931年に公表されたが、Churchillは飲料水中のフッ素と斑状歯のとの間に正確な関係は見いだせなかったと強調した。すなわち、これら限局地域からの飲料水中に今まで知られていない共通の原因物質の存在があるということのみが明らかにされた (Churchill, 1931)⁹⁾。

4. 飲料水中のフッ素濃度、斑状歯およびう蝕の関係に関する研究

この関係に関する研究は、US Public Health Serviceの責任者であるClinton T. Messnerが、若い歯科事務官Dr. H. Trendly Deanを任命し、斑状歯に関する専任の研究を行わせた。Deanは、臨床に関与しない最初の歯科専門官であった。最初に取り組んだ仕事は、Mckayの仕事を継続し、アメリカ内の斑状歯の内容および地域的分布を明らかにすることであった。すなわち、斑状歯が報告されているが歯科調査が行われていない28地区、質問票により報告はされているが調査が行われていない70地区について、斑状歯の分類法を開発して口腔内診査および調査を行った。その目的は、これらの地域の斑状歯の程度と飲料水中のフッ素濃度との関係を明らかにし、また、斑状歯発現の

フッ素濃度の最小閾値 (minimal threshold) を明示することであった。その結果、斑状歯の程度は飲料水中のフッ素濃度が増加するに伴い増加するとの結論が導き出された。

さらに、Deanは、1ppmを超えないフッ素量は公衆衛生的に問題がないことを示すための研究を続けた。そして、1938年10月25日に、Dr. McKayと共同で、American Public Health Associationに斑状歯に関する研究内容を要約して論文発表を行った。その内容は、アメリカの斑状歯の程度に差はあるが26州、375の地域に斑状歯が見られるというものだった。この斑状歯の発生は、飲料水を変えるだけ、すなわち、高フッ素濃度の飲料水から1 ppm以下の飲料水に変えるだけで、Oakley, Idaho, Bauxite, Arkansas and Andover, South Dakotaにおいて斑状歯が発生しなくなったとの結論であった。また、これら特有の地域の飲料水中のフッ素がヒトの斑状歯の第一の原因であるとの直積的証明でもあった (Dean and McKay, 1939)¹⁰⁾。この論文により、1902年にColorado Springsに始まり、40年たって、斑状歯の原因に関するDr. McKayの研究に素晴らしい結論を与えたことになる。

1933年、公衆衛生的な観点からいえば、飲料水中フッ素の歴史はいよいよ新しい、また最も重要な局面を迎える。Deanは、斑状歯の程度とう蝕罹患との間には逆相関関係にあることに気づき、各地で口腔内診査を行っている。例えば、Illinois州のGalesburg and Monmouth (F濃度1.8および1.7ppm) およびMacomb and Quincy (F濃度0.2ppm) で、年齢12から14歳の子供885人の審査を行ったところ、Macomb and Quincyのう蝕経験はGalesburg and Monmouthの2倍以上であった。さらに、4州21の都市で12から14歳の子供7,257人の調査が行われ、飲料水中のフッ素濃度の上昇とう蝕経験との間には明確な関係が認められ、さらに、う蝕経験の最大の減少がフッ素濃度1ppmで起こることを示していた (Dean et al, 1942)¹¹⁾。

5. 水道水フッ化物添加実験開始

次なるステップは、1ppmのフッ素をフッ素を含まない飲料水中にフッ素を添加してう蝕が減少するかどうかを検討することであった。アメリカ Public Health Serviceはこの事業を始めるための準備を始めた。1942年ミシガン湖畔の2つの市、Grand RapidsとMuskegonの担当者と相談、調査の結果、1ppmのフッ素はう蝕抑制に効果があり、安全性についても問題がないとの結論に達した。この情報をもとに、1944年ミシガン大学との協力のもと、Deanを中心とした実験を行った。4から16歳の子供の継続的居住者が対象者であり、Grand Rapidsを実験市 (19,680人) でMuskegon (4,291人) を対象市と決め歯科検診を行ったところ両市の乳歯および永久歯のう蝕経験は同じであった (Dean et al, 1950)¹²⁾。この歯科検診のう蝕診査に使用されたのは、現在もWHOの診査基準や日本の学校検診などでも使用されているDMFT indexであった (Klein et al, 1950)¹³⁾。私事であるが、このDMFT開発者のKleinは、私が大学院時代に行い、Journal for Dental Researchに掲載したエナメル質の透過性に関する電気化学的研究¹⁴⁾の際、参考にした引用文献に記載しているKleinの8編におよぶ論文の著者であることに感慨深いものがある。Kleinはエナメル質の研究者であり、さらにDMFTの開発に携わっていた優れた研究者であったと想像でき、50年近く前に彼の業績に触れて研究していたことに感謝しておきたい。

このことは、人類史上、自然に添加されたものでなく、ヒトが初めて飲料水に有益な栄養素を添加した意味で歴史的出来事であった。

Grand Rapidsにおける上水道フッ化物添加の6年半後の効果が1953年に報告された。その結果は明白で、Grand Rapidsの6歳児のう蝕経験は、Muskegonの子供の約半分であった。そのため、Muskegonでは、1951年に上水道へのフッ化物の添加を開始したため、その時点で対象となる市は無くなったことになる。

その後、アメリカでは各州、市、地区で上水道

のフッ化物添加が行われ、各地域のフッ化物濃度はCDC (Center of Disease Control) のHome Pageに詳細に示されている。

6. まとめ

世界的に若年者を中心としたう蝕減少が報告され、う蝕予防を実感できる時代を迎えている。このことにフッ化物の果たした役割は明らかであり、フッ化物配合歯磨剤、フッ化物洗口、フッ化物歯面塗布、上水道フッ化物濃度調整などフッ化物に個人、専門家および公衆衛生の場で接する機会が増えてきており、このような状況は、100年近く前の先人の努力の賜物である。今回記述した100年前のフッ化物と斑状歯の原因、予防、およびう蝕予防の歴史から学ぶことは多い。

1. 先人の行ってきた行動、思考、業績を記述して残しておくことが重要であること。
2. Dr. Mckayに見られる科学的、持続的探究心を保有すること。
3. 歯科医師だけでなく、医者、化学者がこの発見に至ったように、多職種連携・協調が必要であること。
4. 個人、専門家、行政（公衆衛生）のそれぞれの立場でできる責任、義務を考えること。
5. 日本が課題先進国といわれるように、少子高齢化、人生100歳時代、格差、分断、社会保障、国民皆保険制度など、産官学民歯科医師会が知恵を出して解決に努力すべきである。
6. With corona, After CoronaのNew Normalについて、Science Based Approachに基づき、考えていくべきである。

文 献

- 1) 高江洲義矩；フッ素からフッ化物へーその歴史の始まり；<http://www.f-take.com/28taikai-takaesu.htm> (2020年3月)
- 2) Henri Missan；https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Moissan (2020年3月)
- 3) Frederic S Mackay；<https://www.fauchard.org/publications/21-frederick-s-mckay> (2020年3月)
- 4) Black G.V.; A brief synopsis of paper entitled mottled teeth; and endemic developmental imperfection of the enamel of the teeth, heretofore unknown in the literature of dentistry. (In collaboration with Mckay, Frederick S.) Proceedings of the Panama-Pacific Dental Congress, 25-34, 1915.
- 5) Black G.V.; Mottled teeth; an endemic developmental imperfection of the teeth, heretofore unknown in the literature of dentistry. (In collaboration with Mckay, Frederick S.), Dental Cosmos, 129-156, 1916.
- 6) Eager J.M.; Chiaie teeth. (Mottled enamel) U.S. Marine Hospital Service. Dental Cosmos. 300, 1902.
- 7) Mckay Frederick S.; Progress of the year in the investigation of mottled enamel, with special reference to its association with artesian water. J. of National Dental Associ., 363-370, 1918.
- 8) Mckay Frederic S., and Kempf, Grover A.; A review of the most recent research on mottled enamel. J. Dental Research, 416-417, 1930.
- 9) H.V. Churchill; Occurrence of Fluorides in some waters in the United States: Ind Eng. Chem., 996-998, 1931.
- 10) Dean H. T. and Mckay F.S.; Production of Mottled Enamel Halted by a Change in Common Water Supply: American J Pub. Health Nations Health, 590-596, 1939.
- 11) Dean H.T., Arnold F.A., Elvove E.; Domestic water and dental caries V. Additional studies of the relationship of fluoride domestic waters to dental caries experience in 4,425 white children, aged 12 to 14 years of 13 cities in 4 states. Publ. Health Rep, 1155-1179, 1942.
- 12) Dean H.T., Arnold F.A. Jr., Jay P. and Knutson J.W.; Studies on mass control of dental caries through fluoridation of the public water supply: Public Health Rep., 140-1408, 1950.
- 13) Klein H. and Palmer C.E.; Studies on dental caries. XI. Comparison of the caries susceptibility of the various morphological types of permanent teeth: J. Dent. Res., 203-216, 1941.
- 14) Kambara M., Asai T., Kumasaki M and Konishi K.; An Electrochemical Study on the Human Dental Enamel with Special reference to Isoelectric Point : J Dent Res, 306-312, 1977.

フッ化物応用までの初期の歴史

Early History of Fluoride Application

Masaki Kambara

(Kambara Global Health Institute)

Key Words : fluoride, history dental caries, McKay, Dean

We are entering an era in which we can feel the reduction of dental caries in humankind by using fluoride. Evidence that fluoride is effective for caries was obtained at most 120 years ago by the efforts of not only dental personnel but also ancestors. I wrote the story that led to the finding that it was effective in suppressing early caries, with the consciousness that we, who live in the present age, should not forget it.

Health Science and Health Care 20 (1) : 3-8, 2020