

歯科領域におけるフッ素に関する諸問題について —特にインドにおける状況について—

島原政司、山本孝文、山賀 保、木村吉宏、有吉靖則、植野高章  
(大阪医科大学感覚器機能形態医学講座口腔外科学教室 (主任：植野高章教授))

### 【はじめに】

歯のフッ素症(フッ素症歯：以下DFと略す)は特定の地域に家族集団的に発生し、19世紀の終わりから20世紀にかけて、メキシコ、イタリア、アメリカなどでDFが地域的に発見され、同様にDFが発症した地域ではう蝕が少ないという疫学的結果が得られた。フッ化物には歯にとって濃度により有利に作用する場合と、不利に作用する場合があることが知られていた。すなわち、有利に作用する場合にはう蝕予防となり、不利に作用する場合にはDFの発生を来すことである。しかしながら、上水道が完備した現在、本邦においては、DFに関する問題はほぼ解決し話題となることはほとんどなかった。従って、日常の歯科臨床においてはDFに関する症例を経験することは極めてまれであり、う蝕予防効果に関する研究に重点がおかれているのが現状である。インドにおいては、いまだフッ素症(DF、骨フッ素症)が大きな問題となっており、その対策にかなりの遅れがみられる。

著者らは2008年4月1日から3日までインド・タミナルドゥ州(クリシュナギリ地区・ダルマプリー地区)、また、2011年11月20日より12月6日までインド・タミナルドゥ州(クリシュナギリ地区・ダルマプリー地区)及びラジャスタン州(ジャイプール地区・アジミール地区・ナゴール地区)においてフッ素症、特にDFならびにこれらに関する環境調査を行う機会を得たので、その概要を報告する。

### 【日常生活とフッ素】

フッ化物は自然環境には普遍的に存在し、特に日常の生活環境と深いかわりがある。土、水、食品中には微量のフッ素が含まれており、土壌中には平均280ppm、茶葉には約300ppm、食塩中には25.9ppm、海水中には1.3ppm、河川水には0.1~0.2ppmのフッ化物が存在する。また、ほぼほとんどの食料に含まれている。

日本の水道水は、水道法第4条の規定に基づき、「水質基準に関する省令」で規定する水質基準に適合することが必要であるとされている。それによればフッ素は0.8ppmを越えてはならないと規定されている。

日常飲用するミネラルウォーターの需要は日増しに増加し、国内生産、輸入品も含めると、その量は2008年では2515000klである。販売されている銘柄は2006年で320~330種類に達する。ミネラルウォーター類の製造基準については厚生労働省食品衛生法で示されており、原水については、水道法の規定で供給される水または一般細菌、大腸菌群、カドミウム、水銀など18項目につき規定された検査方法において基準に適合する水であることが義務づけられている。フッ化物も基準項目として設定されている。水道法によれば、フッ化物濃度の基準値は0.8mg/l以下であることとされているが、ミネラルウォーター類の基準によれば、2mg/l以下である水でなければならないとされている。また、平成6年食品添加物の規格基準が一部改正され、通則によれば「0.8mg/lを越えるフッ素を含有する原水を用いて製造されたミネラルウォーター類にあっては、〈7歳未満の乳幼児は、このミネラルウォーターの飲用を控えること。〉旨の表示をするように指導されたい。」となっている。

### 【フッ化物の毒性について】

フッ素の濃度別毒性ならびに暴露期間別毒性については、Smithら<sup>1)</sup>の論文で述べられており、歯科領域に関しては1ppmでは生涯に渡ってう蝕予防効果があり、2ppm以上でDFが認められると述べている。すなわち、DFは歯の形成時期(おおよそ0~8歳)に、長期に高濃度(2ppm)以上のフッ化物に暴露された場合に発生するとの考えが一般的である。フッ化物による腎臓ならびに甲状腺、さらに発育などへの障害は高濃度のフッ素が長期間作用した結果の慢性中毒である。現在このような大量の高濃度のフッ化物を長期間取り入れる機会は、特に本邦においてはほとんどみられない。しかしながら、誤って大量のフッ化物を一時的に摂取した場合に生じる急性中毒は本邦においてまれに報告されている。

長期間の高濃度フッ素含有飲料水ならび高濃度フッ素含有食などによるフッ素摂取量が増加すると、地方病的な骨病変の発生が認められるようになる。いわゆるendemic fluorosisといわれるもので、インド北部ベンジャブ地方、南部タミナルドゥ地方、中国内モンゴル自治区、アフリカリン灰石地帯などの住民での発症が報告されている。カルシウム摂取や栄養状態の程度により骨軟化症、くる病、二次甲状腺機能亢進症、腎障害などの合併症が認められることがある。また、甲状腺腫や各臓器の腫瘍、免疫系への影響、不妊、先天異常などの報告も認められるが、一方で、これらの疾患へのフッ化物の関与を否定するものもあり、現時点では結論がでない。

### 【DFについて】

DFとは、歯の形成期に過剰なフッ化物を継続的に摂取した場合に、主としてエナメル質に生ずる歯の形成障害とされている。DFは摂取される飲料水のフッ化物濃度によってさまざまな状態を呈する。正常な状態と識別がほとんどできないものから、明らかに識別でき、審美性に問題を呈するものまでさまざまである。DFは以下の項目が特徴とされている。即ち、(1)飲料水中に高濃度(1~2ppm以上)のフッ素イオンを含む地域で生まれ育ったもの(6~8歳ぐらいまでに)に発生する、(2)一定の地域に限局し、集団に現れることが多い、(3)歯面の白濁または境界が比較的鮮明で水平の縞を作りやすく、左右対称的に現れ、1歯列に数歯以上現れることが多い、(4)主として永久歯に現れるが、フッ素が高濃度になると乳歯にも現れる、(5)一般にう蝕罹患率が低いなどである。DFの分類は1934年に発表されたDeanの5分類が現在も国際的に用いられている。

今回のインドにおけるDFの調査において、個人の飲用している水ならびに尿中のフッ素濃度を測定しておらず、視

診にのみによって判断しているため、正確には DF と診断するべきではなく斑状歯とすべきであると考えるが、同地方の飲料水には多量のフッ素が含有されていることが周知の事実であること、ならびに上記の DF の特徴である(2)~(5)を満たしていることから、今回は視診所見をもって DF とした。

#### 【フッ化物によるう蝕予防について】

フッ化物を応用したう蝕予防の方法としては、全身投与と局所的投与方法がある。全身的投与方法としては、水道水フッ化物添加がある。本法は公衆衛生特性の最も優れたう蝕予防法として広く国際社会に認められている。現在では WHO、FDI (International Dental Federation : 国際歯科連盟) などの専門機関により、その実施が推奨されている。水道水にフッ化物を投与する場合、水道水フッ化物濃度調整 (水道水フッ化物濃度調整 (水道水フッ化物濃度調整 ; 以下 WF と略す) ) が必要である。WF とはう蝕予防と DF 予防のために水道水のフッ化物濃度を適正に調整することである。WF の結果に関し、Murray は 23 カ国における WF における乳歯う蝕予防効果に関する文献 66 編、ならびに永久歯う蝕予防効果に関する文献 86 編を集計し考察を加えた結果、う蝕有病状況が半分以下になったと報告している<sup>2)</sup>。WF を行い、う蝕予防を行っている主な国は約 60 カ国であり、約 6 億人がその飲料水を使用している。米国では、2006 年には約 1 億 8400 万人が WF された水道水を飲用しており、これは米国の給水人口の 69.2% である。オーストラリアでは約 1200 万人 (約 61%)、カナダでは約 1400 万人 (約 43%)、アジアにおいては中国 (香港行政区)、シンガポールでは 100% が WF の行われている水道水を飲用している。本邦においては、現在 WF は行われていない。

局所投与としてはフッ化物歯面塗布剤、フッ化物配合歯磨剤、フッ化物洗口剤など約 10 種類の方法が開発されている。

#### 【インド・ホゲナカル水道フッ素症対策事業】

インドにおいては、人口増加に伴う上水使用量の増加、上水道整備の遅れによる浄水需給の深刻な不足化、また、表流水を活用した水源開発の遅延による過度な地下水依存の結果、地下水量の低下があり、これらの問題に加わるに水中に溶出したフッ素、砒素などの有害物質摂取などの問題を招いている。

今回の調査対象地域であるクリシュナギリ地区ならびにダルマプuri地区はタミナルドゥ州の北西部に位置し、約 298 万人 (2006 年) の人口のうち、124 万人が貧困ライン以下で暮らす後進地域である。同地区では人口増加に伴う水需要の増加にもかかわらず、年間降水量は 815mm とインド全国平均 (1170mm)、およびタミナルドゥ州平均 (977mm) よりも少なく、年中利用可能な表流水が少なく、地下水の過剰汲み上げによる枯渇により慢性的な水不足が生じている。また、デカン高原の岩盤には、フッ素が多量に含まれており、地下水へ浸透することによって地域住民の間ではフッ素症が高率に認められる。水不足やフッ素によって汚染された飲料水問題を解決するには、同地区から 45km 離れたコーベリ川を取水源とする安全な表流水 (フッ素濃度を測定していないため WF が必要か否かは不明である) を供給することが急務とされている。このような背景のもと、第 1 回現地視察 (2008 年 4 月) 後の 2010 年 8 月よりバンガロールに本拠地を置く NPO 法人 STEM (Center for symbiosis of technology environment and management) がタミナルドゥ州上下水道公社 (TWAD) および州保健・家族福祉局とともにソフトインフラ事業であるフッ素症対策コンポーネントに関する活動を開始した。

#### 【インド・タミナルドゥ州における DF 調査について】

著者らは、インドにおける研究代表機関および現地協力機関の要請を受け、2008 年 4 月に、当時の日本側事業実施主体である国際協力銀行 (JBIC) 代表者とともに第 1 回視察を行った。視察はタミナルドゥ州クリシュナギリ地区、ダルマプuri地区の水質検査施設、地区病院、プライマリヘルスセンター、小学校、集落などを中心に行った。その結果については河野ら<sup>3)</sup>が報告しており、同地域においては、取水源不備に伴うかなりの率で住民、特に子供に DF が多く発生していること、ならびに DF に対する予防対策の不備が明らかになった。さらに両地域では男女とも年齢に比し体格が小さく、喫食調査などの栄養状態などの把握も合わせ行う必要があると結論づけられた。両地域の集落や小学校で利用している井戸から採取した飲料水の水質検査を行った結果、フッ素濃度はいずれの井戸においても WHO ガイドラインの 1.5mg/dl を越えて 3~7 倍の高値を求めた。

さらに 2011 年 11 月 20 日から 26 日にかけて調査対象地域であるクリシュナギリ地区、ダルマプuri地区の行政施設、医科大学病院、政府系総合病院、保健所、水質検査施設、学校、個人歯科医院、個人診療所などを視察するとともに各施設の関係者による説明を受けた。調査結果の詳細についてはすでに Shimizu ら<sup>4)</sup>が報告している。第 1 回現地視察時の後、われわれの提言およびインド側との協議にもとづきフッ素対策コンポーネント従事者のための手引き冊子 (Training manual for doctors, School children dental program, Dental fluorosis identification card 等) が作成されていた。

今回行ったダルマプuri地区における DF 発症状況は当地の公式資料 (National Program for prevention and control of fluorosis - Consolidation of Survey work 2010, Office of Deputy Director of Health Services, Dharmapuri) によると、ダルマプuri地区の 8 地域において、最大 62.3%、最小 44.5% であり、平均 53.8% に DF が認められている。飲料水中フッ素濃度が比較的低い (0.5-3.0mg/l) Palakode 地区では、DF、小児の DF の発生率が他地区と比較して低く、飲料水中フッ素濃度が比較的高い (1.8-12.0mg/l) Pappireddipatti 地区では DF、小児の DF の発生率が他の地区と比較して高い状態であった。Office of Deputy Director of Health Services, Dharmapuri の 2009 年から 2011 年までの調査データを入手することができた。それによると飲料水の水源別フッ素濃度 (RO 水 : reverse osmosis 水 0.82 ± 0.33ppm 以外) は、開放式の井戸では特に高く 3.24 ± 3.32ppm、他の水源では平均 1.26-2.29ppm であった。また、ダルマプuri地区の住民が頻りに利用する手動式くみあげポンプ井戸の井戸水のフッ素濃度を地区別に見た場合、Pappireddipatti 地区で特に高く 4.10 ± 2.57ppm、他地域では平均 1.55-1.76ppm であった。

ダルマプuri地区における DF の発生率、ならびにその程度 (分類) に関し、時間の制約、調査人員の不足などにより詳細な検討を行うことが不可能であったが、ケンナバリの小学校で検診を行った。5-10 歳の児童 460 名が通学しており就学率

は約 60%とのことである。児童のほとんどは井戸水を飲料水として使用しているようであり、詳細に調査を行うことが可能であった 38 名の児童について Dean の分類に準じ検診したところ、28 名 (74%) に DF が認められた。インドにおけるフッ素による被害を受けた人数は約 6000 万人といわれ、インドの人口は約 13 億人といわれており、現地の報告をもとに計算すると約 5% (タミナドゥ州における資料では Dharmapuri District の DF は 54%) にしかならず両者の相違は著しい。公式発表との間にかかなりの差が認められた。一方、う蝕の有病率を詳細には調査を行っていないが、う蝕が極めて少ない印象を受けた。これはフッ素の影響あるいは食生活の特殊性によるものか定かでないが、我が国に比べう蝕の発生に関与すると考えられる食物の摂取が極めて少ない特徴がみられた。

ダルマプ地区における第 1 回目の視察においては作製されていなかったが、第 2 回目の視察においては、フッ素対策コンポーネント従事者のための DF に関する手引き冊子 (Training manual, For doctors, School children dental program, Dental fluorosis identification card) が作成されていた。内容は改正を必要とする箇所が認められたが、ほぼ適切な内容であった。しかしながら、これらの小冊子が実際に現場でどのように活用されているかは不明であった。病院訪問では Government General Hospital(Hosur, Krishnagiri), Dharmapuri Medical College Hospital (Dharmapuri) の 3 か所の病院を訪問したが、いずれの病院も積極的に DF に関して対応している状況は何えなかった。これらのいずれの病院の歯科においてもマンパワーの点を考慮すると、積極的に DF に関する対策を行うことは多くの問題があるものと推察された。この地区の歯科医師数に関する詳細な情報は得られなかったが、本事業の完成前後の DF の発生状況の詳細な調査の重要性、長期に渡る調査期間などを併せ考えると、歯科医師数のみならず関係する人員を増員する必要がある。なお、The World Health Report 2006(WHO)によれば、インドの歯科医師数は (2004 年) は 61424 人 (人口千人あたり 0.06 人) である。歯のフッ素症の予防教育や発生状況の調査を国家規模で行うには現状の人員体制では不可能であり、人員増強を行うための抜本的な制度改革が必要であると思われた。

#### 【インド・ラジャスタン州における DF 調査について】

北インド・ラジャスタン州 (ジャイプール地区、ナゴール地区、アジミール地区) における調査は 2 回目の調査が始めてである。ナゴール保健局のプレゼンテーションにおいて、同地区における DF の発症状況における論文の提示を受けたが、実際の集計データを観覧することはできなかった。南部のタミルナドゥ州と比較すると多少発症率が低いとの印象を得たが、同地区の報告ではかなりの高率のようである<sup>9)</sup>。しかしながら今回の調査では詳細に観察する機会がなかったため定かではない。Nagaur District General Hospital, Ladnun Subdivisional Hospital, Deedwana Subdivisional Hospital, Ajmer Medical School を訪問した。Ajmer Medical School における設備はほぼ良好であり、1 名の常勤の歯科医師の歯科治療に関する説明は納得のいくものであった。説明によると 1 日の患者数はかなり多いようであり、DF に対応するには不可能な状態であった。

この地域においてフッ素症の調査ならびに対策に対応するには、調査した 3 地区は広大な面積 (タミルナドゥ州の 2.5 倍) であり、歯科医師の数があまりにも少ない状態であった。

同地区においては、将来的に事業の水平展開が計画されているようであるが、南インド・ボケナカル地方での計画が一定程度進行した時期に、事業の標準化モデルを作成し応用することが望ましいと考えられる。ラジャスタン州は広大すぎるため、一定地区をパイロットエリアに指定して調査し、試験的に事業を導入し、その後拡大していくことも一方と考えられる。

#### 【結語】

フッ素症をはじめとしてインドの貧困に関わる問題の多くは地方に存在しているが、インドの地方では教育、医療、保健制度において種々の問題が多くあり、貧困層の教育や医療へのアクセスを困難化することで一層の健康負担を強いており、経済的、社会的格差の拡大を助長する各循環の要因となっている。このような悪循環を断ち切るためには貧困層に対する重点的な支援が必要と考えられる。タミルナドゥ州ならびにラジャスタン州においては、上水道の整備によるフッ素症を含め健康問題の解決なくしては雇用や所得が向上せず貧困問題が解決しないと思われる、同時に住民における経済問題、教育問題 (DF 問題の啓発も含め) など、あまりにも多くの問題が存在するため、解決にはかなりの時間を要すると考えられる。

#### 【文献】

- 1) Smith, F.A., Hodge, H.C.: Fluorine and Dental Health, The Pharmacology and Toxicology of Fluorine. Pp.11—37, Indiana Univ. press, Indiana, 1959
- 2) Murray, J.J.: Prevention of oral disease. Oxford University Press, 37-38, Oxford, 3<sup>rd</sup> ed., 1996
- 3) Koichi KONO, Kan USUDA, Tomotaro DOTE, Hiroyasu SHIMIZU, Emi YAMADORI, Masashi SHIMAHARA : Hogenakkal Water Supply and Fluorosis Mitigation Project in the Indian State of Tamil Nadu Report of a Preliminary Survey. Bull OMC 54:71-77, 2008
- 4) Hiroyasu SHIMIZU, Masashi SHIMAHARA, Manabu MIYAMOTO, Keiichi FUJIMOTO, Masako MORIMOTO, Toshitaka HORIUCHI, Koichi KONO : The Report of the Hogenakkal Water Supply and Fluorosis Mitigation Project in Krishnagiri and Dharmapuri Districts, India, with the Results of Water Analysis for Fluoride and Trace Elements. Bull OMC 58:9-15, 2012
- 5) Radha Gautam, Nagendra Bhardwaj, Yashoda Saini : Dental fluorosis — a case study from Nawa tehsil in Nagaur district, Rajasthan (India). Environmentalist 31:401-406, 2011