原 著

ドイツ、ケムニッツ（カールマルクススタット）市 における学童の歯中のフッ素濃度分布*

Fluoride Profiles in Teeth from Children Living in
Chemnitz (Karl-Marx Stadt) City, Germany

竹 内 来**

Kitaru TAKEUCHI**

Received September 27, 1993; accepted November 16, 1993

Abstract: In the present study, fluoride profiles were examined in teeth from Chemnitz (Karl-Marx Stadt) with fluoridated drinking water (F: 1.0ppm) and control areas (Erfurt (F: 0.2ppm) and Nagoya (F: 0.1ppm)) with non-fluoridated drinking water. The fluoride concentrations in all premolar teeth of children aged 10-14 years old were determined in a series of samples extending from the enamel surface through the dentino-enamel junction (DEJ) to the dentino-pulpal junction (DPJ), using an abrasive micro-sampling technique.

The results were as follows;

1) Fluoride profiles in the three areas (Chemnitz, Erfurt and Nagoya) were similar in general.

Concentrations of fluoride were high in the outermost layer of enamel, and then decreased sharply towards the inner enamel. In the inner enamel, concentrations tended to level off with a small increase near the DEJ. Higher levels of fluoride in the dentine than in the enamel were observed near the DEJ. This heightened dentine fluoride level then continued to a distance of about 300 μ m from the DPJ. There were sharp increases of fluoride levels in the dentine near the DPJ.

2) At every depth of enamel and dentine, the fluoride levels in Chemnitz were 2-3 times higher than in the control areas (Erfurt and Nagoya). No significant difference in fluoride levels was found between Erfurt and Nagoya.

3) There were relatively high concentrations of fluoride in the enamel and dentine near the DEJ, as well as near the enamel surface and in the dentine near the DPJ.

索引用語：フッ素，エナメル質，象牙質，飲料水フッ化物添加

Key words: Fluoride, Enamel, Dentine, Fluoridation

---

* 本研究の要旨は1993年7月，The 40th ORCA (Germany) にて発表した。

** 愛知学院大学歯学部口腔衛生学講座（主任・指導：中垣晴男教授）

** *Department of Preventive Dentistry and Dental Public Health, School of Dentistry, Aichi-Gakuin University (Chief: Prof. Haruo NAKAGAKI)*

緒 言

ドイツのケムニッツ市 (Chemnitz, 旧カールマルクススタット, Karl-Marx Stadt) は1959年より1991年までの33年間、飲料水のフッ化物添加 (1.0ppm) を行っていた^{1,2)}。このケムニッツ市 (以下ケムニッツ) の子供達のうち蝕経験についてはすでに報告がなされていて、その効果、特に切歯の蝕抑制が報告されている^{1,2)}。そこで、ケムニッツの人の歯にフッ素がどのようにとり込まれているかについて興味を持たれる。

しかし、このケムニッツの人の歯における詳しいフッ素濃度分布については報告されていない。ケムニッツでは1991年にフッ化物添加が中止されたので、今後このことについて分析される機会が少なくなることが予想される。また、従来エナメル質からエナメル象牙境 (dentino-enamel junction, 以下 DEJ) を経て象牙質歯髄境 (dentino-pulpal junction, 以下 DPJ) までミクロン (μm) 単位の正確な深さでフッ素濃度分布 (プロファイル) を測定するのに適した方法がなかった。近年 Weatherell らは試料の表層より一定の厚さでサンプル層を連続的に採取することのできる abrasive micro-sampling 法³⁾を開発した。Nakagaki らはすでにこの方法を用いて名古屋市 (以下名古屋) の人から得られた歯のエナメル質、歯冠部象牙質、歯根部象牙質、およびセメント質について詳細なフッ素濃度分布および年齢的变化を明らかにした⁴⁾。

そこで今回、ケムニッツの学童から得られた歯について、ケムニッツより西方約30kmのエルフルト市 (以下エルフルト) (Erfurt, 飲料水中 F : 0.2ppm) を対照地区とし、日本の名古屋 (同0.1ppm) を参考地区として、エナメル質表層より DEJ を経て DPJ までのフッ素濃度分布を abrasive micro-sampling 法を用いて測定した。これにより、飲料水フッ化物添加地区における学童の歯中のフッ素濃度分布を明らかにし、非添加地区との比較を行ったので報告する。

材料および方法

1. 対象歯

フッ化物添加地区であったドイツのケムニッツ (旧カールマルクススタット, 飲料水中フッ素濃度 : 1.0ppm) から10歯、非添加地区として、ドイツのエルフルト (飲料水中フッ素濃度0.2ppm) より5歯、また名古屋 (飲料水中フッ素濃度0.1ppm) より8歯の、エルフルト大学、愛知学院大学のそれぞれの大学病院およびその関連施設に

において矯正歯科における治療上の理由で抜去された小臼歯を使用した。対象歯は、肉眼的に蝕を認めない未処置歯であり、形成不全などの異常所見のないものを用いた。

2. 試料

付着している軟組織や沈着物を除去した歯を、硬組織切断機 (マルトースライサー MC-501, マルトー社製) を用いて歯の長軸に沿って歯冠中央部より頬舌的に縦断し、厚さ約400 μm の切片を作成した。次に、歯冠中央部のエナメル質表層より DPJ までの幅約1mmの隣接した2つの小切片を実体顕微鏡下でダイヤモンドディスク (86XXSI, Horico 社製) で切断して取り出し、再び顕微鏡下でメスを用いて DEJ で分離して4個の小切片とした。これらの小歯片は、シアノアクリレート系接着剤 (アロンアルファ, 東亜合成化学社製) で金属棒 (以下ロッドと記す) に接着し、エポキシ製接着剤 (クイック5, コニシ社製, 日本) にて固定した。その際、2個のエナメル質小切片は、一方はエナメル質表層を、他方は DEJ 側を固定した。また象牙質小切片も、一方は DEJ 側を、他方は DPJ 側を固定した。各々の小歯片には、あらかじめその中央部にメスで印を付けておき試料研削上の目印とした。

試料分画を得るために、Weatherell らの開発した abrasive micro-sampling 法³⁾を用いた。試料を付けたロッドを Mikrokator (C. E. Johansson 社製, Sweden) に装着し、15 μm grade のシリコンカーパイド製のラッピングフィルム (Imperial Lapping Film, 3M 社製, USA) のストリップスを用いて、各々の表面より30 μm ずつ第4層までは連続で試料分画を得て、それ以降はエナメル質では150 μm 、象牙質では200 μm ずつ間隔をおいて連続的に各々30 μm の試料分画を研削採取した。この様にしてあらかじめ印を付けた小切片中央部まで研削することによりエナメル質表層から DPJ までの全層の粉末試料分画が得られた。ストリップス上の粉末試料分画は、1.0M HClO₄ 3 μl をマイクロピペットで滴下、プラスチック棒で攪拌した後、容量1.0ml ポリエチレンカプセル (TAAB Laboratories, Reading, England) 内に吸引回収した。さらにストリップス面に1M sodium acetate buffer 4 μl を滴下し、同様にカプセル内に吸引した。この操作を連続3回繰返し、全量約15 μl のサンプル溶液を得た。サンプル溶液は遠心分離器にかけ (2000rpm, 5分) カプセル底に収積した⁵⁾。

リンの定量には回収したサンプル溶液 4 μl を用いて、Chen et al.⁶⁾ の比色法にてデジタルビーム分光光度計 (UV-150-02型, 島津製作所社製) を用いて、波長

Fig. 1 Fluoride profiles from the enamel surface through the DEJ to the DPJ.

820 μ m で測定した。フッ素の定量には、Hallsworth et al.⁷⁾の方法に従って、フッ素イオン電極 (94-09, Orion Research, MA, USA), 比較電極 (90-01, Orion Research, MA, USA) 及びイオンメーター (901, Orion Research, MA, USA) を使用して行った。回収したサンプル溶液からリンの定量のために用いた 4 μ l を除いた残りの溶液を 2 μ l ずつ 3 回測定を行った。測定値は毎回 60 秒後に記録し、最終測定値 (3 回目) を採用した。試料分画中のフッ素濃度 (ppm) は、エナメル質のリン濃度 (乾燥重量濃度) は 17.4%⁸⁾, 象牙質は 12.6%⁹⁾ と仮定してリンに対するフッ素の相対濃度 (F/P 比) より算出した。縦軸にフッ素濃度 (ppm), 横軸に表層からの深さ (μ m) をとりフッ素濃度分布プロファイル (profile) を表した。また、Nakagaki ら¹⁰⁾の表現法に準じて、総フッ素量 (フッ素濃度分布曲線下の領域を面積で表したもの) より、平均フッ素濃度 (総フッ素量を試料の深さで割ったもの) を求めた。

平均フッ素濃度は、エナメル質全層、象牙質全層の他、エナメル質表層、エナメル質 DEJ 側、象牙質 DEJ 側、そして、象牙質 DPJ 側において求めた。各々、区域間における有意差検定には Student の t-test を用いた。

結 果

1. エナメル質表面より DEJ を経て DPJ までのフ

ッ素濃度分布

飲料水フッ化物添加地区であるケムニッツ、非添加地区のエルフルト、及び非添加地区の名古屋についてエナメル質表面より DEJ を経て DPJ までのフッ素濃度分布を Fig. 1 で示した。その結果、3 地区ともに同様な分布形態であった。エナメル質においては、最表層で最高値を示し、表面より 100~200 μ m の深さにかけて急激に減少し、それ以降は横ばい、DEJ 直前 50~100 μ m でやや増加する傾向が認められた。DEJ を過ぎて象牙質にはいると、フッ素濃度は、エナメル質の濃度より少し高くなり DEJ より 100 μ m の深さでやや減少し、その後横ばい、DPJ より 300 μ m 前後の深さより著明な上昇を示し、DPJ 近くで最高値に達した。

一方、3 地区の各層のフッ素濃度の平均値を見ると、フッ化物添加地区における濃度は、非添加地区に比べ全層にわたり明らかに 2~3 倍濃度が高かった (Fig. 1)。エナメル質における平均フッ素濃度は、フッ化物添加地区であるケムニッツが非添加地区であるエルフルトより有意に高く ($p < 0.01$), 名古屋に対しても同様に高かった ($p < 0.01$)。エルフルトと名古屋の非添加地区間に有意は認められなかった (Table 1, Fig. 2)。また、象牙質における平均フッ素濃度は、同様にケムニッツがエルフルトより有意に高く ($p < 0.01$), 名古屋に対してもやはり有意に高かった ($p < 0.01$)。エルフルトと名古屋の間に有意差はなかった (Table 1, Fig. 2)。さらに、

Table 1 Average fluorides in different regions of enamel and dentine.

	ERFURT	NAGOYA	CHEMNITZ
ENAMEL			
SURFACE	158.84±29.91	218.77±37.53	500.67± 73.46
DEJ	44.99±17.01	41.34± 8.39	175.34± 28.04
TOTAL	44.05± 9.05	46.09± 5.08	124.94± 13.63
DENTINE			
DEJ	101.72±51.32	66.39± 6.19	267.19± 33.31
DPJ	442.82±86.60	467.36±21.90	1164.44±100.86
TOTAL	97.46±23.81	118.57± 7.98	336.43± 37.43

(mean±SE)

Fig. 2 Average fluoride throughout the tissues. (ERF: Erfurt, NGO: Nagoya, CHE: Chemnitz)

Fig. 3 Ratios of average fluoride throughout the tissues. (ERF: Erfurt, NGO: Nagoya, CHE: Chemnitz)

3 地域の平均フッ素濃度を非添加地区のエルフルトを基準とする相対比で表した (Fig. 3)。この結果、エナメル質の平均フッ素濃度の比はエルフルトに対して名古屋 1.05, ケムニッツ 2.84 であった。象牙質においてはエルフルトに対して名古屋は 1.22, ケムニッツ 3.45 であった。

2. エナメル質表層, エナメル質 DEJ 側, 象牙質 DEJ 側および象牙質 DPJ 側におけるフッ素濃度レベル

本研究においては, 特に, エナメル質の表層及び DEJ 近くと象牙質の DEJ 近く及び DPJ 付近の 4 部位について各々 4 層, 120 μ m の深さまでのフッ素濃度を 3 地域について同様に比較した。

1) エナメル質表層

3 地域ともに最表層部で最高値を示し内層に向かい急激な減少を示した。各層ごとの平均フッ素濃度は 4 層ともにフッ化物添加地区であるケムニッツが非添加地区であるエルフルトと名古屋より高値を示した (Fig. 1)。

エナメル質表層の平均フッ素濃度は, ケムニッツがエルフルトより有意に高く ($p < 0.01$), また, 名古屋に対しても有意に高かった ($p < 0.01$)。エルフルトと名古屋の間には有意差は認められなかった (Table 1, Fig. 4)。

2) エナメル質 DEJ 側

3 地域ともに DEJ 隣接部で最高値を示したがエナメル質表層に比べると値は低かった。そして, エナメル質内層にいくにしたがい急激に減少した。ケムニッツの値は 4 層すべてにおいてエルフルト及び名古屋より高値を示した (Fig. 1)。エナメル質 DEJ 側 4 層の平均フッ素濃度は, ケムニッツがエルフルト ($p < 0.01$) 及び名古屋 ($p < 0.01$) に対して有意に高かった。エルフルトと名古屋の非添加地区間の有意差はなかった (Table 1, Fig. 4)。

3) 象牙質 DEJ 側

Fig. 4 Average fluoride of the four regions (enamel surface, enamel near DEJ, dentine near DEJ and dentine near DPJ).
(ERF : Erfurt, NGO : Nagoya, CHE : Chemnitz)

Fig. 5 Ratios of average fluoride of the four regions (enamel surface, enamel near DEJ, dentine near DEJ and dentine near DPJ).
(ERF : Erfurt, NGO : Nagoya, CHE : Chemnitz)

3 地域で DEJ 隣接部より多少の値の増減を伴いながら内層に向いやや減少の傾向を認めた。またエナメル質同様にケムニッツの値が 4 層ともにエルフルト及び名古屋より高かった (Fig. 1)。

象牙質 DEJ 側 4 層の平均フッ素濃度は、ケムニッツエルフルトに対し有意に高かった ($p < 0.05$)。また名古屋に対しても有意に高かった ($p < 0.01$)。エルフルトと名古屋の間には有意差はなかった (Table 1, Fig. 4)。

4) 象牙質 DPJ 側

全体的な分布傾向は 3 地域ともに DPJ 隣接部で高い値を示し象牙質内層に向い減少を認めた。又、3 地域ともにこの部位において全層の最高値を示した。やはり前述の 3 地域と同様にケムニッツが全層においてエルフル

ト及び名古屋より高い値を示した (Fig. 1)。

象牙質 DPJ 側 4 層の平均フッ素濃度は、ケムニッツがエルフルトに対して有意に高かった ($p < 0.01$)。又、名古屋に対しても高かった ($p < 0.01$)。エルフルトと名古屋の間には有意差はなかった (Table 1, Fig. 4)。

3. エナメル質表層, エナメル質 DEJ 側, 象牙質 DEJ 側および象牙質 DPJ 側の 4 部位におけるフッ化物添加地区と非添加地区の平均フッ素濃度比の比較

1) エルフルトとケムニッツの比較 (Fig. 5)

エルフルトの平均フッ素濃度を基準とした場合、ケムニッツの値は、エナメル質表層では 3.15, エナメル質 DEJ 側は 3.90, 象牙質 DEJ 側は 2.62, そして、象牙質 DPJ 側では 2.63 であった。これより、相対的な増加

Fig. 6 Ratios of average fluoride of the four regions (enamel surface, enamel near DEJ, dentine near DEJ and dentine near DPJ). (Nagoya 1.0)
(ERF: Erfurt, NGO: Nagoya, CHE: Chemnitz)

比が最も高いのはエナメル質 DEJ 側であり、エナメル質表層がこれにつづき、象牙質の DEJ 側及び DPJ 側がこれより低い同レベルであった。

2) 名古屋とケムニッツの比較 (Fig. 6)

名古屋の平均フッ素濃度を基準とした場合、ケムニッツの値はエナメル質表層で2.28、エナメル質 DEJ 側で4.24、象牙質 DEJ 側で4.03、そして、象牙質 DPJ 側では2.48であった。この結果、増加比は、エナメル質 DEJ 側が最も高く、象牙質 DEJ 側がつづき、象牙質 DPJ 側、エナメル質表層の順であった。

考 察

1. 対象歯

今回の研究に用いた歯において、フッ化物添加地区であるケムニッツと非添加地区であるエルフルトのドイツの両地区の対象歯は Dent. Faculty of Stomatology, Medical Academy of Erfurt より提供されたものであり、抜去時における両地区の飲料水中フッ素濃度（ケムニッツ1.0ppm、エルフルト0.2ppm）は、同学部の報告によるものである。また、両地区は近接しており、気候（年間最高気温平均11.7度、年間最低気温平均3.8度、年間降水量521mm）、生活状態に差はないと思われる。参考地区の名古屋（年間最高気温平均20.7度、年間最低気温平均11.9度、年間降水量1413.5mm）の対象歯については、フッ化物添加による影響をより明らかにするため、フッ化物添加地区であるケムニッツに抜去時年齢、性別、歯根完成状態のできるだけ近いものを対応させて

選び両地区間の歯の条件の違いををできるだけ少なくなるように配慮した。Weatherell^{5,11-12)}の研究などにより、エナメル質中のフッ素濃度は萌出後の表面の wear（“すりへり”）、歯垢、フッ化物応用、う蝕等の状況により変化することが報告されている。“すりへり”については、今実験では対象歯の抜去時年齢が10歳より14歳までと若いことと、試料作製において、小白歯の頬側面中央部を用いたため“すりへり”が起こりにくく、影響が少ないと思われる。歯垢及び飲料水以外の歯磨剤等のフッ化物応用状況については調査できなかった。また、すべての対象歯はう蝕のない未処置のものを用い、形成不全などの異常も認められなかった。

2. フッ素濃度分布

エナメル質表層から DPJ までのフッ素濃度分布は、フッ化物添加地区であるケムニッツと非添加地区であるエルフルト及び名古屋のすべてに同様な分布（プロファイル）が認められた。エナメル質および歯冠部象牙質のフッ素濃度分布については報告がなされているが、Speirs¹³⁾のように表層のみ報告が多く、エナメル質表層より DPJ まで連続した分布の報告は少ない。Yoon¹⁴⁾はエナメル質と象牙質におけるフッ素濃度分布を報告しているが、エナメル質と象牙質が連続した試料によるものでなく、また、パーにより試料を削り取っているため、測定の深さが正確ではなかった。Nakagaki¹⁴⁾らはフッ化物の非添加地区において、今回の実験と同様の abrasive micro-sampling 法を用いて連続的なフッ素濃度分布を報告している。同方法の Mikrokator による試料採取は

1 μm の精度を持っているため、試料の正確な深さを求めることができる。acid etching sampling 法では、酸が拡散しやすい多孔質や耐酸性のある有機質を多く含有する組織に応用しにくい。ため用いる試料が限定されたり、side etching の影響や脱灰層の厚さを調節するのが困難なことから、多層にわたる試料採取に問題がある。今実験ではエナメル質表層、象牙質 DPJ 側に加えエナメル質と象牙質の DEJ 側に着目し、この4部位について Nakagaki らの2層に比べ30 μm ずつ4層の連続の測定を行い、より分布が明確なものになった。各々の地区のフッ素濃度分布はいずれも Nakagaki らの報告と類似した同様の分布を示した。つまり、エナメル質のフッ素濃度が表層で高く内層に向かって急激に減少し、以後横ばいになる F-gradient^{15,16)} は、フッ化物添加地区と非添加地区において、横ばいに移行した深さも100~200 μm で一致しており (Fig. 1), 飲料水のフッ化物添加によって変化はなかった。また、フッ素濃度の DEJ の両側での増加や DPJ より300 μm 前後よりの著明な上昇を示し全層の最高値に到るパターン (Fig. 1) もフッ化物添加によって変わることはなかった。尚、象牙質 DPJ 側における最高値は必ずしも歯髄に接した最表層部にあるわけではなく、むしろ、やや内層にあって最表層部が少し減少する例も多かった。影響を最も受ける最表層部のフッ素濃度の減少は、形成速度の速い組織の存在があるのかも知れない。Nakagaki et al.^{4,10,17)} はセメント質において、形成速度が遅いと相対的にフッ素の取り込まれる時間が長くなり、フッ素濃度が高くなるとしている。また、伊豆¹⁸⁾ も形成速度の遅い成長線部で同様の報告をしている。このことにより、歯髄に近接した象牙質に形成速度の速い組織が存在すれば、フッ素濃度の減少の理由と考えられる。

3. フッ化物添加地域と非添加地域におけるフッ素濃度の比較

飲料水のフッ化物添加によるフッ素濃度の上昇について、Speirs¹³⁾ はエナメル質表層でフッ化物添加地区 (F : 2 ppm) が非添加地区 (F : 0.25 ppm) より2~3倍高い濃度を示したと報告し、Yoon ら¹⁴⁾ は飲料水中フッ素濃度が増すとエナメル質、象牙質の全層においてフッ素濃度が増加したと報告している。また、Shannon et al.¹⁹⁾ は飲料水中フッ素濃度の違う8地区のエナメル質表面より一層のみ (12~16 μm) のフッ素濃度を報告している。彼らのデータによると、飲料水のフッ素濃度に比例して、エナメル質表層のフッ素濃度が増加しているのがわかる。今回のデータもやや値が低いがこれに沿う

ものであった。しかしながら、エナメル質表層から DPJ までの詳細な比較についての報告はあまり見られない。今回、Fig. 1 よりわかるように、エナメル質、象牙質全層においてフッ化物添加地区が高い値を示し、フッ化物添加の影響が全ての層に表れることを示している。これは、エナメル質全層、象牙質全層、エナメル質表層部、エナメル質 DEJ 側、象牙質 DEJ 側および象牙質 DPJ 側の平均フッ素濃度における有意差検定においても、ケムニッツがエルフルトおよび名古屋に対してすべて有意差を認めたことでもわかる (Fig. 2, 4)。

エナメル質、象牙質での比較をみると、エルフルトを基準とする平均フッ素濃度比は、ケムニッツにおいて、エナメル質で2.84で、象牙質では3.45であることから増加率では象牙質が高く、より多くのフッ素のとり込みがあったと考えられる (Fig. 3)。Weatherell ら¹²⁾ や Nakagaki ら⁴⁾ の研究によると、エナメル質のフッ素濃度は、形成期や成熟期では歯冠萌出前に組織液から影響を受け、萌出後はその表層のみが“すりへり”、歯垢、フッ化物応用、う蝕などによって影響を受けるとしている。また、象牙質のフッ素濃度が年齢によって増加するという Yoon ら¹⁴⁾、杉本²⁰⁾、Nakagaki ら⁴⁾ などの報告により、象牙質のフッ素濃度は、形成期、成熟期の影響のみならず、持続的に歯髄より象牙細管を通じてフッ素が運ばれると考えられることをあわせると、エナメル質は表層より飲料水のフッ化物添加による影響を受けているが、成熟期以後内部のフッ素濃度の上昇が期待できないのに対して、象牙質では歯髄側より内部まで継続的に影響を受け続けるために全層の比較では象牙質の増加率が高くなったと思われる。

さらに、今回行ったエナメル質表層、エナメル質 DEJ 側、象牙質 DEJ 側、および象牙質 DPJ 側の4部位における比較において、平均フッ素濃度比はエルフルトに対してケムニッツは、エナメル質 DEJ 側 (3.90)、エナメル質表層 (3.15)、象牙質 DPJ 側 (2.63)、象牙質 DEJ 側 (2.62) の順に大きかった (Fig. 5)。エナメル質 DEJ 側が最大の増加率を示し、象牙質 DEJ 側も4部位中最低とはいえ、象牙質 DPJ 側とほぼ同レベルであることより DEJ 部の特異性をうかがわせる結果であった。Suckling ら²¹⁾ も scanning proton microprobe analytical technique を用いた分析で、フッ化物添加後エナメル質表層、象牙質 DPJ 側と同時に DEJ 部に著明なフッ素濃度の上昇を認めたと報告している。覚道²²⁾ によれば、同部はエナメル質と象牙質の異なる組織の境界に接するところで、形成期にお

いて最もフッ素濃度が高くなりやすい部位であるとしており、これは歯髄から象牙細管を介して影響を受けることにもよると考えられるとしている。今回の結果はこの報告を裏付けるものと思われる。尚、名古屋を基準とした場合、ケムニッツはエナメル質 DEJ 側 (4.24)、象牙質 DEJ 側 (4.03)、象牙質 DPJ 側 (2.48)、エナメル質表層 (2.28)、の順に大きく、より明らかな DEJ 両側におけるフッ素のとり込みを示している (Fig. 6)。エナメル質表層においては、萌出までの組織液との接触によるフッ素のとり込み^{12,23-25)}と萌出後のフッ化物添加された飲料水からの直接的なとり込みが考えられるため、形成期における DEJ へのとり込みが大きかったことが象牙細管からの影響を考慮してもうかがえる。

4. 非フッ化物添加地区のエルフルトと名古屋のフッ素濃度の比較

今回、エルフルトと名古屋間においては、エナメル質および象牙質の全層、また、今回測定した4部位においても平均フッ素濃度に有意差は認められなかったことは興味を持たれる (Fig. 2, 4)。飲料水中のフッ素濃度はエルフルトが0.2ppm、名古屋が0.1ppmで、ややエルフルトが高かったが、この濃度差による歯の硬組織中濃度への影響は認められなかった。歯の硬組織中のフッ素濃度に影響を及ぼすと思われる飲料水中のフッ素濃度以外の因子については飲食物、歯磨剤などのフッ化物応用、歯垢などが考えられるが、今回ドイツより提供を受けた歯はこれらの状況について調査することができなかった。しかし、成人が食事から1日に摂取するフッ素量についての報告では Taves²⁶⁾は1.8mgと述べており、これは San Filippo et al.²⁷⁾の報告と一致し、Singer et al.²⁸⁾の報告した2.2~1.2mg/dayともほぼ同じである。日本人については、飲塚は0.48~2.64mg、鮫島は1.6~2.7mg、斎藤は0.1~3.5mgと述べ²⁹⁾、前述の報告とほぼ同じ値であり、食事から摂取するフッ素量は地域差が少なくと考えられ、エルフルトと名古屋で平均的には大きな差はないと思われる。この他、紅茶、日本茶などの嗜好の個人的因子や飲料水以外の歯磨剤等のフッ化物応用に違いが考えられるが、検定の結果より、これらの因子の関与は少なかったと思われる。しかしながら、部位別の平均フッ素濃度比の比較において、エルフルトを基準にしたときと名古屋を基準にしたときを比べてみると、エナメル質表層の増加率がエルフルトでは2番目に高いが、名古屋では最低であった。このことより、エルフルトでは名古屋よりエナメル質表層に働く歯磨剤等の因子

がより多く関与していたようにも考えられる。今回の場合いづれにしろ、飲料水のフッ化物添加による歯中フッ素濃度への影響が大きかった。

結 論

今回著者はドイツのケムニッツ市 [Chemnitz, 旧 Karl-Marx Stadt F: 1.0ppm] の児童から得られた抜去小白歯 (10~14歳) についてエルフルト市 (Erfurt, F: 0.2ppm) と名古屋市 (F: 0.1ppm) を対照として、エナメル質表層からエナメル象牙境 (DEJ) を経て象牙質歯髄境 (DPJ) までのフッ素濃度分布 (プロファイル) を abrasive micro-sampling 法を用いて比較した。その結果のアウトラインは次のようであった。

1. ケムニッツ、エルフルトおよび名古屋の歯はいずれもエナメル質表層が高く急激に減少し、内部で横ばい、DEJ 近くでやや上昇、象牙質に入るとエナメル質よりやや高くなりその後横ばいとなり、DPJ へかけて急激に増加するフッ素濃度分布を示した。

2. ケムニッツはいずれの深さにおいてもエルフルトおよび名古屋より2~3倍フッ素濃度が高かった。一方、エルフルトと名古屋におけるフッ素濃度には有意な差が認められなかった。

3. エナメル質表層および象牙質 DPJ 側と同様にエナメル質と象牙質の DEJ 側にも相対的に高いフッ素のとり込みが認められた。

謝 辞

稿を終えるに当たり、終始懇切な御指導および御校閲を賜りました中垣晴男教授に深謝の意を表します。

また御校閲賜りました本学病理学講座、亀山洋一郎教授および解剖学第一講座、大野紀和教授に心より感謝の意を表します。

本研究にサンプル歯を提供していただいたエルフルト大学 W. Künzel 教授および L. Stösser 教授に感謝致します。

終りに、本研究に御支援御協力いただきました名鉄病院歯科、伊藤振本部長および口腔衛生学講座各位に感謝申し上げます。

文 献

- 1) Künzel, W.: Results and prospects of water fluoridation in the German Democratic Republic, Caries Res., 2; 172-179, 1968.
- 2) Künzel, W.: Trinkwasserfluoridierung als

- Kollektive Kariesvorbeugende Massnahme, 2nd edn, VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1976.
- 3) Weatherell, J. A., Robinson, C., Strong, M. and Nakagaki, H.: Micro-sampling by abrasion, *Caries Res.*, **19**; 97-102, 1985.
  - 4) Nakagaki, H., Koyama, Y., Sakakibara, Y., Weatherell, J. A. and Robinson, C.: Distribution of fluoride across human dental enamel, dentine and cementum, *Archs oral Biol.*, **32**; 651-654, 1987.
  - 5) Weatherell, J. A., Hallsworth, A. S., Robinson, C.: The effect of tooth wear on the distribution of fluoride in the enamel surface of human teeth, *Archs oral Biol.*, **18**; 1175-1189, 1973.
  - 6) Chen, P. S., Toribara, T. Y. and Warner, H.: Microdetermination of phosphorus, *Anal. Chem.*, **28**; 1756-1758, 1956.
  - 7) Hallsworth, A. S., Weatherell, J. A. and Deutsch, D.: Determination of subnanogram amounts of fluoride with the fluoride electrode, *Anal. Chem.*, **48**; 1660-1664, 1976.
  - 8) Lazzari, E. P.: Chemical composition of teeth. In *Dental biochemistry* (Edited by Lazzari, E. P.), Lea & Febiger, Philadelphia, 1968. p. 1-8
  - 9) Zipkin, I.: The science of nutrition and its application in clinical dentistry, ed by Nizel, A. E., 2nd Edition. p.285, Saunders Co., Philadelphia, 1966.
  - 10) Nakagaki, H., Weatherell, J. A., Distribution of fluoride in human cementum, *Archs oral Biol.* **30**; 101-104, 1985.
  - 11) Weatherell, J. A., Robinson, C. and Hallsworth, A. S.: Changes in the fluoride concentration of the labial enamel surface with age, *Caries Res.*, **6**; 312-324, 1972.
  - 12) Weatherell, J. A., Deutsch, D., Robinson, C. and Hallsworth, A. S.: Assimilation of fluoride by enamel throughout the life of the tooth, *Caries Res.*, **11**(Suppl. 1); 85-115, 1977.
  - 13) Speirs, R. L.: The uptake, exchange and release of fluorides at the surfaces of the teeth, *Brit. Dent. J.*, **104**; 347-348, 1958.
  - 14) Yoon, S. H., Brudevold, F., Gardner, D. E. and Smith, F. A.: Distribution of fluoride in teeth from areas with different levels of fluoride in the water supply, *J. Dent. Res.*, **39**; 845-856, 1960.
  - 15) Jenkins, G. N. and Speirs, R. L.: Some observations on the fluoride concentrations on the fluoride concentration of dental tissues, *J. Dent. Res.*, **33**; 734(Abst), 1954.
  - 16) Brudevold, F., Gardner, D. E. and Smith, F. A.: The distribution of fluoride in human enamel, *J. D. Res.*, **35**; 420-429, 1956.
  - 17) Nakagaki, H., Kawai, K., Murakami, T., Sakakibara, Y., Ohno, N., Weatherell, J. A. and Robinson, C.: Fluoride distribution and histological structure of human cementum, *Archs oral Biol.*, **33**; 257-264, 1988.
  - 18) 伊豆志保美: ヒト永久歯セメント質におけるフッ素濃度分布と成長線, *口腔衛生会誌*, **40**; 94-103, 1990.
  - 19) Shannon, I. L. and Trodahl, J. N.: Effect of waterborne fluoride on fluoride concentration and solubility of dental enamel, *Aust. Dent. J.* **22**; 428-431, 1977.
  - 20) 杉本めぐみ: ヒトの象牙質内のフッ素とマグネシウム分布のX線マイクロアナライザによる観察, *歯基礎誌*, **23**; 790-808, 1981.
  - 21) Suckling, G. W., Coote, G. E. and Cutress, T. W.: Proton microprobe determination of Profiles of fluoride levels in the enamel and dentine of human teeth, In press.
  - 22) 覚道幸男: 歯と口腔臨床生理, p.124-141, 永末(京都), 1967.
  - 23) Aasenden, R., Moreno, E. C. and Brudevold, F.: Fluoride levels in the surface enamel of different types of human teeth, *Archs oral Biol.*, **18**; 1403-1410, 1973.
  - 24) 石井拓男: エナメル質表層フッ素濃度とエナメル質溶解性の歯面, 部位および年齢群別の研究, *口腔衛生会誌*, **30**; 126-143, 1980.
  - 25) 鶴飼 基: 未萌出永久歯及び半萌出永久歯における歯面部位別のエナメル質表層フッ素濃度とエナメル質溶解性, *口腔衛生会誌*, **33**; 400-428, 1983.
  - 26) Taves, D. R.: Dietary intake of fluoride ashed (total fluoride) v. unashed (inorganic fluoride) analysis of individual foods, *Br. J. Nutr.*, **49**; 295-301, 1983.
  - 27) San Filippo, F. A. and Battistone, G. C.: The fluoride content of a representative diet of the young adult male, *Clinica chim. Acta*, **31**; 453-457, 1971.
  - 28) Singer, L., Ophang, R. H. and Harland, B. F.: Fluoride intake of young male adult in the United States, *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**; 328-332, 1980.
  - 29) 日本口腔衛生学会フッ素研究部会編: フッ化物物局所応用に関するガイドブック, 口腔保健協会, p 57, 1985.