

第3章 水質分析

第3章 水質分析

3.1 はじめに

本調査地域に関係する6州の水利官（water engineer）からのヒアリング調査によると、内部収束流域（Internal Drainage Basin: IDB）では水源のフッ素濃度が著しい地域は広く分布しているようである。しかし、対象地域全体をカバーする水源のフッ素の分布状況については未だ明らかになっていない。さらに、そのフッ素の起源やフッ素以外の水源の水質汚染についても十分明らかになっていない。そのため、本調査で水質調査を実施した。その目的と内容を表3-1に示す。

表3-1 水質調査の概要

目的	調査方法	調査地点の配置
i) フッ素分布の全体像の把握	1) 内部収束地域における既存水質データの収集 2) 簡易水質調査 3) 既存給水施設のインベントリー調査	水質データ（既存データを含め）が、内部収束地域全体にわたって比較的均一に収集できるように、調査地点を配置した。
ii) フッ素の由来解明	1) 室内水質分析	各種鉱物資源と水源のフッ素濃度の関係を明らかにするために、上記 i) の調査地点に加え、フッ素濃度が著しい地域にも調査地点を配置し、水質試験を実施した。
iii) 他の水質汚染状態	1) 簡易水質調査 2) 室内水質分析	上記 i) の調査地点においてフッ素以外で問題となっている水質項目（鉄、マンガン、硝酸、アンモニア、大腸菌等）の分布状況を調査する。

3.1.1 調査方法

(1) 簡易水質調査

簡易水質調査地として、水源の状況を勘案し約200村を選定した。簡易水質調査は、既存の水質データが不足している地域およびフッ素濃度が著しいと想定される地域に重点を置いて実施した。本調査期間中に2回（雨季と乾季）実施した。第1回簡易水質調査は2006年2月から3月の雨季に実施し、第2回は2006年8月の乾季に実施した。調査したサンプル数および村落数は、第1回が264サンプル（183村落）、第2回が317サンプル（266村落）であった。簡易水質調査では携帯用測定機器およびフィールドキットにより、以下のような水質項目を現場で測定した。

携帯用水質測定器による水質測定項目：

水温、pH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)

フィールドキットによる水質測定項目：

硫化物、フッ素、ヒ素、アンモニア、硝酸、鉄、マンガン、大腸菌。

なお、本調査で行ったインベントリー調査では、簡易水質調査と同じ水質項目について水質調査を行った。



図 3-1 簡易水質調査の実施状況

(2) 室内水質分析

室内水質分析は、IDB における水源の飲用への適合性・他水源の利用可能性・水処理方法等の観点から水源を評価するために実施した。試験項目には、「タ」国の飲料水に関する暫定水質基準項目に加えて、表 3-2 に示すような項目を追加した。

室内水質分析用の既存水源のサンプルは、第 2 回簡易水質調査時に採取した。また、試掘井戸の水質サンプルは 2006 年 8 月から 2007 年 9 月に採取した。これらの室内分析用サンプルは、サンプリング後直ちにダルエスサラムにある分析室に搬入した。

表 3-2 タンザニアの水質基準と室内水質分析のための分析項目

		Aspect and Items	Unit	Tanzanian Standard (2003) *1	WHO Guideline (2004) *2	
Microbial Aspects	1	Total coliform bacteria	count/100ml	0	-	
	2	Escherichia Coli	count/100ml	0	0	
Chemicals that are of health significance	3	Cadmium (Cd)	mg/l	0.05	0.003	
	4	Cyanide (CN)	mg/l	0.2	0.07	
	5	Lead (Pb)	mg/l	0.1	0.01	
	6	Arsenic (As)	mg/l	0.05	0.01	
	7	Mercury (Hg)	mg/l	0.001	0.001	
	8	Selenium (Se)	mg/l	0.05	0.01	
	9	Barium (Ba)	mg/l	1	0.7	
	10	Fluoride (F)	mg/l	4	1.5	
	11	Hexavalent-chromium (Cr6+)	mg/l	0.05	-	
	12	Total chromium (T-Cr)	mg/l	-	0.05	
	13	Nitrate (NO3-N)	mg NO3/l	75	50	
	14	Nitrite (NO2-N)	mg NO2/l	-	3 / 0.2 *3	
	15	Boron (B)	mg/l	-	0.5	
	16	Nickel (Ni)	mg/l	-	0.02	
	17	Antimony (Sb)	mg/l	-	0.02	
	18	Molybdenum (Mo)	mg/l	-	0.07	
	19	Manganese (Mn)	mg/l	0.5	0.4	
	20	Organic Carbon (as carbon in Chloroform)	mg/l	0.5	-	
	Acceptability aspects	21	Acceptability aspects	Hardness	600	600
		22	Calcium (Ca)	mg/l	100	-
23		Magnesium (Mg)	mg/l	1000	-	
24		Iron (Fe)	mg/l	1	-	
25		Zinc (Zn)	mg/l	15	-	
26		Copper (Cu)	mg/l	3	2	
27		Chloride (Cl-)	mg/l	-	-	
28		Residue*4	mg/l	-	-	
29		Total filterable residue*5	mg/l	2,000	-	
30		Anionic surface active agents (as ABS)	mg ABS/l	2	-	
31		Phenols	mg/l	0.002	-	
32		Hydrogen sulfide (H ₂ S)	mg/l	-	-	
33		Ammonium (NH ₃ +NH ₄)	mg/l	-	1.5	
34		Total nitrogen (Excluding NO ₃)	mg/l	1	-	
35		BOD	mg/l	6	-	
36		Potassium permanganate consumption	mg/l	20	-	
37		pH	-	6.5 - 9.2	-	
38		Taste	dilution	not objectionable	-	
39		Odour	dilution	not objectionable	-	
40		Colour	mg Pt/l	50	15	
41		Turbidity (Tr)	NTU	25	5	
42		Temperature	°C	-	-	
43		Conductivity (EC)	mS/m	-	-	
44		Residual chlorine (Cl)	mg/l	-	-	
45		Sulfate (Mg+Na Salts)	mg/l	-	-	
Water quality items related to the characteristics of groundwater	46	Sodium (Na)	mg/l	-	-	
	47	Potassium (K)	mg/l	-	-	
	48	Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/l	-	-	
	49	Total alkalinity	mg/l	-	-	
	50	Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	-	-	

*1: "National Environmental Standards Compendium" Tanzania Burea of Standards, 2003

*2: "WHO Guideline for Drinking Water Quality Third Edition", World Health Organization, Genova, 2004

*3: Short term / long term

*4: Residue is equal to [Total solids - Total dissolved solids]

*5: Total filterable residue is equal to Total dissolved solids (TDS).

Items adopted for water quality evaluation.

3.1.2 調査地点

図 3-2 に簡易水質試験および室内水質試験調査地点位置を示す。

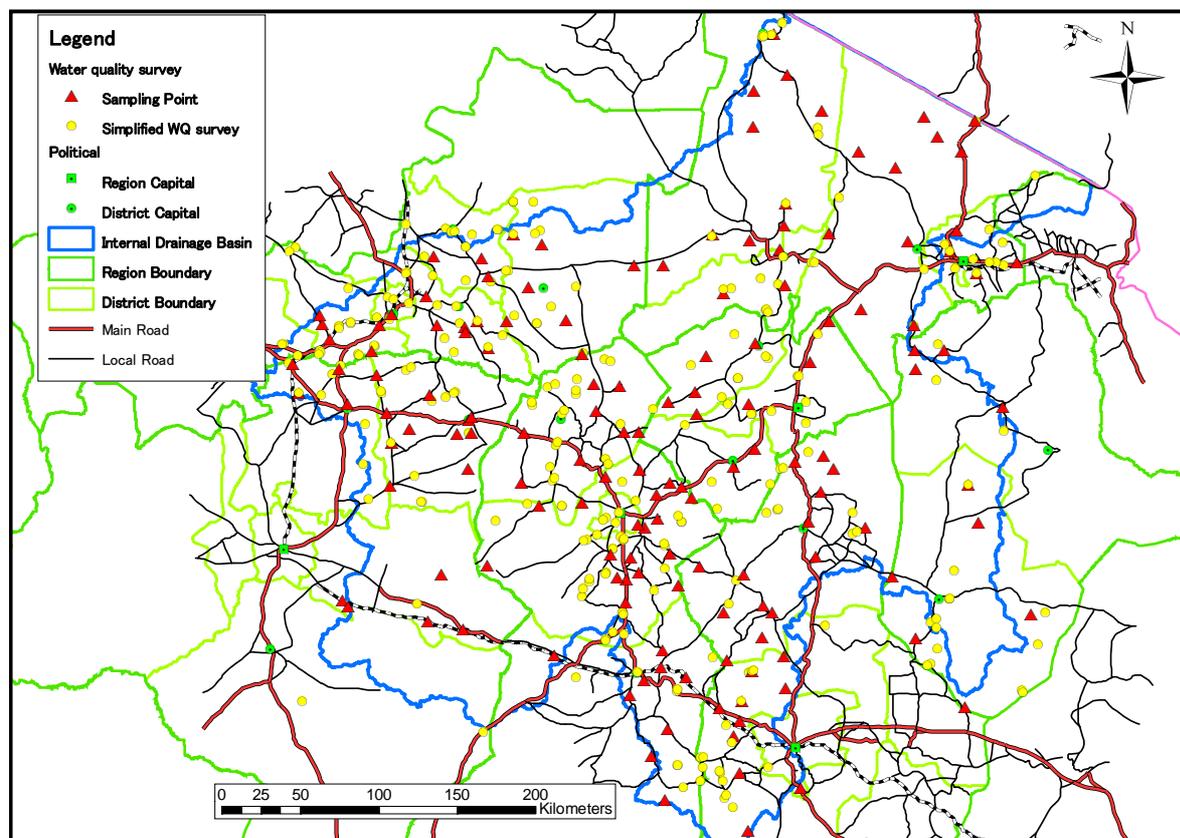


図 3-2 水質調査地点

3.2 表流水の水質

3.2.1 主要な湖沼の水質

IDB およびタンザニア周辺にある主要な湖沼の水質を表 3-3 に示す。IDB にある湖沼については、フッ素濃度は 0.3~966 mg/l の範囲にあり、ナトロン湖で一番高くなっている。一方、ナトロン湖サブ流域 (E サブ流域) のケニア国側に位置するマガディ湖では、東アフリカの中で一番高い値 (1,550 mg/l) が報告されている。調査地域にある湖沼は、ナトロン湖、マニャラ湖、エヤシ湖に代表されるように水深 3 m 以下の浅水湖沼が多く (第 2 章 2.3 節参照)、水質はナトリウムやカリウム等を多く含むアルカリ塩湖が多いのが特徴となっている。

表 3-3 内部収束流域およびタンザニア周辺の主な湖の水質

No	Name	Area (km ²)	Depth (m)	Vol (Km ³)	Altitude (m)	pH	Alkali	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	F	SiO2	
Gregory (Eastern) Rift Valley	1	Turkana	7,600	75	251	400	10	23	48	1	0	0	21	1	9	1
	2	Baringo	129	8	?	965	9	4	95	13	12	3	25	20	?	24
	3	Bogoria	34	?	?	963	11	965	28,400	387	?	?	6,390	216	1,060	260
	4	Nakuru	45	3	?	1,758	?	?	79	2	?	?	9	1	?	1
	5	Naivasha	195	18	?	1,884	8	2	24	12	16	5	7	5	1	25
	6	Magadi	104	?	?	575	11	3,170	132,000	2,280	?	?	84,400	2,190	1,550	1,055
	7	Natron	900	?	?	610	10	2,096	62,700	1,080	?	?	18,300	4,420	966	155
	8	Manyara	470	3	?	960	10	806	2,500	8	10	1	1,173	230	?	10
	9	Eyasi	1,050	?	?	1,030	?	?	4,480	55	?	4	4,360	340	?	?
	10	Basuto	-	-	-	-	8.4	-	91	-	-	-	-	-	2.2	-
	11	Duluti	-	-	-	-	9.2	-	66	-	-	-	-	-	3.0	-
	12	Tlawi	-	-	-	-	6.6	-	107	-	-	-	-	-	0.4	-
	13	Basutoghang	-	-	-	-	7.2	-	54	-	-	-	-	-	0.3	-
	14	Kindai	-	-	-	-	8.5	-	1,236	-	-	-	-	-	1.3	-
	15	Singida	-	-	-	-	9.0	-	590	-	-	-	-	-	1.1	-
16	Victoria	68,500	90	2,700	1,134	8	1	10	3	5	4	4	5	0	17	
Western Rift Valley	17	Kyoga	2,047	?	?	1,037	?	?	28	7	14	7	7	5	1	30
	18	Albert	5,900	55	150	617	9	7	4	2	1	3	1	1	?	0
	19	George	258	4	?	914	9	2	25	10	2	8	6	2	?	1
	20	Edward	2,200	11	78	914	9	10	1	0	1	1	0	0	?	1
	21	Kivu	2,250	485	570	1,163	9	16	14	3	12	8	6	3	?	1
	22	Tanganyika	33,500	1,470	18,900	773	9	7	5	2	1	4	1	0	1	?
	23	Rukwa	2,716	10	?	793	?	?	23	11	2	10	5	2	?	1
	24	Malawi	25,000	770	6,150	475	9	2	6	2	1	7	1	0	2	1
									20	10	1	14	6			

■ : within IDB

(Modified Table 14, P349-350 in Thomas Schluter (1997) : Geology of East Africa)

Unit: mg/L

3.2.2 河川、ダム、池、湧水の水質

調査地域の表流水（河川・ダム・池・スプリング）水質については、既存資料収集、簡易水質調査、インベントリー調査により、河川・ダム・池については 175 地点、湧水については 154 地点においてそれぞれ調査された。表 3-4 に表流水のフッ素（F）、電気伝導度（EC）および pH の平均水質および各濃度別の出現状況を示す。調査地域の表流水のフッ素（F）濃度および電気伝導度（EC）の分布状況は図 3-3～3-4 に示す。

河川・ダム・池のフッ素濃度は、調査地域に関係する 6 州の中ではシニャンガ州がもっとも高く（平均：2.4 mg/l）、湧水のフッ素濃度はアルーシャ州が高く（平均：2.6 mg/l）になっていた。“Arusha Master Plan (2000)”によれば、マニヤラ州の Babati 県 Endaberg 村の湧水（Ayahata Spring）が 66 mg/l と最も高く、次いでアルーシャ州 Karatu 県 Lositete 村の川（Kituma River）が 44 mg/l となっている。フッ素のタンザニアにおける飲料水の水質基準値（フッ素濃度 4 mg/l 以下）と比較すると、この基準値を越すものは河川、ダム、池では全体の 7%、湧水では 12%であった。

表流水の電気伝導度（EC）は、河川・ダム・池に比べ湧水の方がより高い。6 州の中では EC はドドマ州が最も高く（平均：111.1 mS/m）、次いでシンギダ州が高く（平均：84.6 mS/m）になっていた。EC については、現在タンザニアにおける飲料水基準値は設定されていないが、一般的に 150 mS/m を超えると飲料水に適さないと言われている。この 150 mS/m を越すものは河川、ダム、

タンザニア国内部収束地域における地下水開発・管理計画調査
メインレポート 第3章 水質分析

池では全体の3%、湧水では9%となっていた。

pHについてはタンザニアにおける飲料水基準値はpH: 6.5 ~ 9.2となっているが、pH 6以下のものは河川・ダム・池が4%、湧水が2%、pH 9以上のものは河川・ダム・池が6%、湧水が1%となっていた。

表 3-4 表流水のフッ素、pH、電気伝導度（EC）の平均水質および各濃度レベルの出現状況

Fluoride													
Region	Dam, Pond, River and Rain				Spring				Fluoride (mg/l)	Dam, Pond and River		Spring	
	No.	Minimum	Maximum	Average	No.	Minimum	Maximum	Average		No.	%	No.	%
Arusha	93	0.2	44.0	1.5	110	0.1	66.0	2.6	0-0.4	45	26	32	21
Manyara	5	0.2	5.0	2.2	12	0.0	4.0	1.3	0.4-0.8	35	20	48	31
Dodoma	3	0.4	1.0	0.7	10	0.2	2.7	1.2	0.8-1.5	35	20	24	16
Tabora	25	0.1	1.5	0.7	3	0.4	1.4	0.9	1.5-4	48	27	31	20
Shinyanga	25	0.8	6.4	2.4	4	1.2	3.5	2.1	4-8	11	6	13	8
Singida	24	0.0	5.0	2.2	15	0.3	8.7	2.3	8-	1	1	6	4
IDB	175	0.0	44.0	---	154	0.0	66.0	---	Total	175	100	154	100

Unit: mg/l

EC													
Region	Dam, Pond, River and Rain				Spring				EC (mS/m)	Dam, Pond and River		Spring	
	No.	Minimum	Maximum	Average	No.	Minimum	Maximum	Average		No.	%	No.	%
Arusha	93	4.0	490.0	34.3	106	6.6	324.0	56.8	0-10	22	13	8	6
Manyara	5	9.2	58.1	26.8	12	5.3	400.0	83.1	10-50	122	70	86	59
Dodoma	3	19.6	54.5	31.7	7	28.9	285.0	111.1	50-150	26	15	38	26
Tabora	23	8.3	98.9	35.0	2	13.2	33.8	23.5	150-300	3	2	10	7
Shinyanga	25	10.8	56.1	29.0	4	9.4	20.2	13.3	300-1000	1	1	3	2
Singida	25	4.4	180.0	49.3	14	17.2	350.0	84.6	1000-	0	0	0	0
IDB	174	4.0	490.0	---	145	5.3	400.0	---	Total	174	100	145	100

Unit: mS/m

pH													
Region	Dam, Pond, River and Rain				Spring				pH	Dam, Pond and River		Spring	
	No.	Minimum	Maximum	Average	No.	Minimum	Maximum	Average		No.	%	No.	%
Arusha	93	5.7	9.4	7.4	112	5.9	8.9	7.3	4-5	0	0	0	0
Manyara	5	7.4	9.2	8.3	12	6.8	8.2	7.6	5-6	6	4	3	2
Dodoma	3	7.6	8.8	8.3	10	6.6	7.7	7.2	6-7	41	25	45	30
Tabora	21	6.4	10.0	8.1	3	6.4	7.6	6.8	7-8	52	32	75	50
Shinyanga	25	6.8	8.9	7.9	4	6.5	7.3	6.9	8-9	55	34	27	18
Singida	16	2.1	11.0	7.8	10	5.6	9.2	7.2	9-10	9	6	1	1
IDB	163	2.1	11.0	---	151	5.6	9.2	---	Total	163	100	151	100

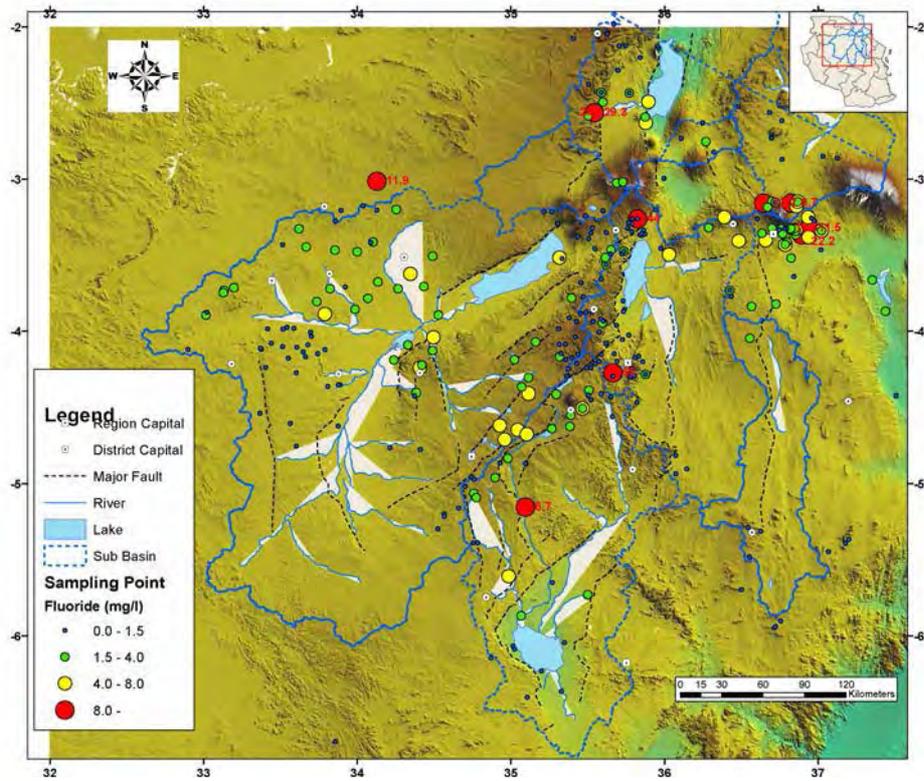


図 3-3 内部収束流域における表流水中のフッ素濃度分布

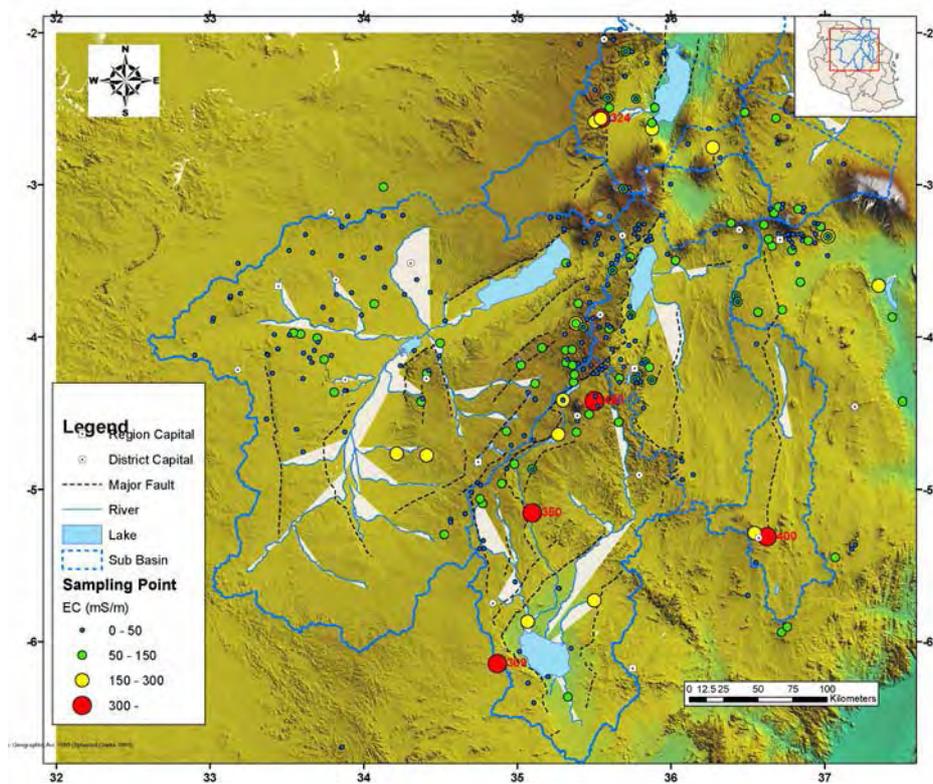


図 3-4 内部収束流域における表流水中の電気伝導度 (EC) 分布

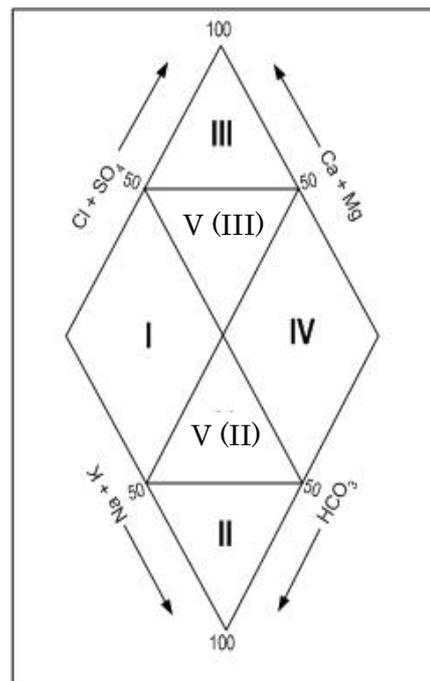
本調査の室内水質分析により得られた各水源の分析結果を基に、表流水中の主要成分 (Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^-) に関するトリリニャーダイアグラム (Trilinear Diagram) を作成した。図 3-5 にその結果を示した。トリリニャーダイアグラムは、主要成分についてモル当量% (epm %)を用いて量的関係を明らかにし、水源の水質タイプの区分を分かりやすくすることを目的にしている。特に、以下に示す菱形座標図 (Key diagram と呼ばれる) はこの目的に適している。一般的に I ~ V の領域に区分される。それぞれの領域に属する試料は次のような組成を持つとされている。

- 領域 I : アルカリ土類重炭酸塩 ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)
- II : アルカリ重炭酸塩 (NaHCO_3)
- III : アルカリ土類非炭酸塩 (CaSO_4 or CaCl_2)
- IV : アルカリ非炭酸塩 (Na_2SO_4 or NaCl)
- V : 中間的組成 (II、III に合併することもある)

塩水と無関係の被圧地下水の場合、その滞留時間が長くなるにつれて SO_4^{2-} は還元作用により減少し、それに代り HCO_3^- が増え、塩基置換作用によって $\text{Ca}^{2+} < \text{Na}^+$ となる傾向にある。この変化は領域 V(III) \rightarrow I \rightarrow V(II) の変化に相当する。

本調査における表流水のトリリニャーダイアグラムを見ると、河川・ダム・池についてはフッ素濃度の低い試料は領域 I に属し、フッ素濃度のより高いものは領域 IV に属していた。

一方、湧水はフッ素濃度の低い試料は河川・ダム・池と同様に領域 I にあり、フッ素濃度のより高いものは領域 II または領域 IV に属していた。湧水は河川・ダム・池に比べ、領域 II に属する試料が多い。これらの結果によると、表流水の中では湧水は水の滞留時間がより長く、フッ素濃度を増加させるような化学的作用 (地層からの溶出や置換作用等) をより長期間受けていることがうかがえる。



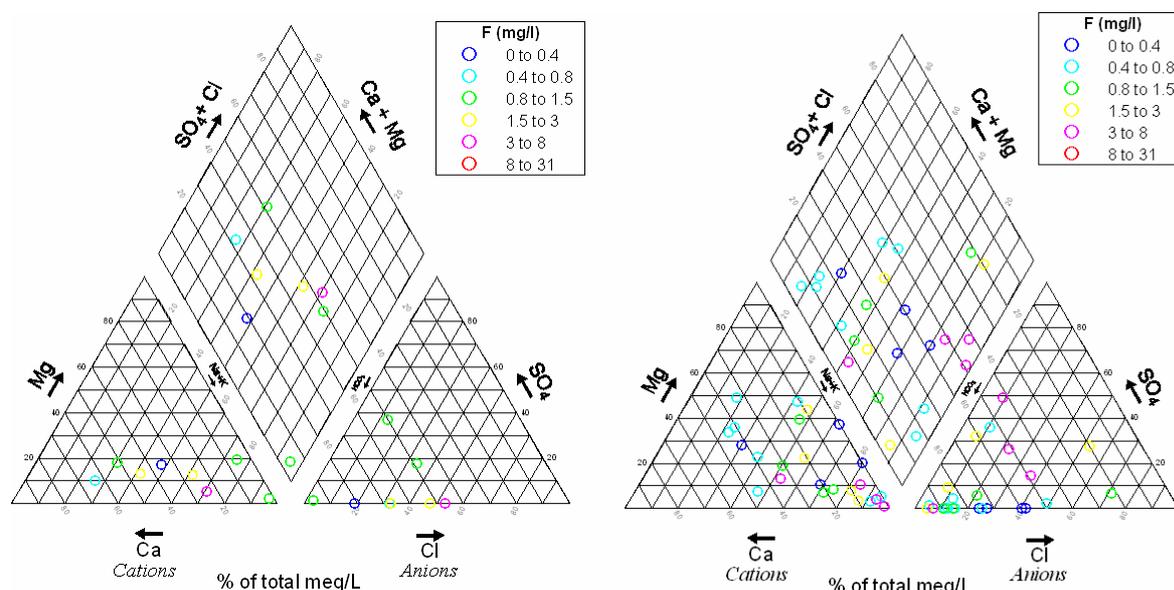


図 3-5 内部収束流域の表流水のトリリニアードイアグラム
 (左図：ダム、池、川、右図：湧水)

3.3 地下水の水質

3.3.1 浅層地下水の水質

浅層地下水の水質に関しては、既存資料収集、簡易水質調査、インベントリー調査により調査した。これ以降、浅層地下水とは Dug well、Shallow well、Traditional dug well (Waterhole) の地下水を指す。その結果、フッ素については 868 地点、電気伝導度は 882 地点、pH は 258 地点分のデータを得た。表 3-5 に浅層地下水のフッ素 (F)、電気伝導度 (EC) および pH の平均水質および各濃度別の出現状況を示す。図 3-6~3-7 に表流水のフッ素 (F)、電気伝導度 (EC) の分布を示す。

フッ素濃度は、調査地域に関係する 6 州の中ではアルーシャ州が最も高く (平均 : 3.0 mg/l)、次いでシンギダ州が高くなっていた (平均 : 2.0 mg/l)。特に、アルーシャ州の Monduli 県 Esilalei 村の Dug well で 25 mg/l と最も高い値となっていた。また、タンザニアのフッ素の飲料水基準値 (フッ素濃度 4mg/l 以下) と比較すると、この基準値を越すものは全体の 18% となっていた。

電気伝導度 (EC) は、6 州の中ではシンギダ州が最も高く (平均 : 98.7 mS/m)、次いでドドマ州が高くなっていた (平均 : 96.4 mS/m)。EC が 150 mS/m を越すものは全体の 17 % となっていた。pH は、6 州の中ではシンギダ州が最も高くなっていた (平均 : 7.8)。pH 6 以下のものは全体の 5 %、pH 9 以上のものは 4 % となっていた。

表 3-5 浅層地下水のフッ素、pH、電気伝導度（EC）および各濃度レベルの出現状況

Region	F (mg/l)				EC (mS/m)				pH			
	No.	Minimum	Maximum	Average	No.	Minimum	Maximum	Average	No.	Minimum	Maximum	Average
Arusha	42	0.2	25.0	3.0	43	7.4	688.0	86.0	43	5.5	8.5	7.0
Manyara	30	0.0	13.3	1.7	29	12.6	205.0	76.7	28	6.3	10.0	7.3
Dodoma	17	0.0	1.1	0.6	17	12.4	305.0	96.4	17	5.6	7.6	7.0
Tabora	38	0.0	5.9	1.2	38	5.5	189.1	49.4	38	5.4	9.5	7.2
Shinyanga	623	0.0	14.0	1.9	622	5.1	302.0	98.7	53	4.8	9.1	7.5
Singida	118	0.1	14.3	2.0	133	6.0	1110.0	92.2	79	3.8	11.0	7.8
IDB	868	0.0	25.0	---	882	5.1	1110.0	---	258	3.8	11.0	---

Fluoride (mg/l)	Dam, Pond and River	
	No.	%
0-0.4	291	34
0.4-0.8	60	7
0.8-1.5	90	10
1.5-4	265	31
4-8	150	17
8-	12	1
Total	868	100

EC (mS/m)	Dam, Pond and River	
	No.	%
0-10	14	2
10-50	178	20
50-150	544	62
150-300	138	16
300-1000	7	1
1000-	1	0
Total	882	100

pH	Dam, Pond and River	
	No.	%
4-5	2	1
5-6	11	4
6-7	72	28
7-8	119	46
8-9	44	17
9-10	10	4
Total	258	100

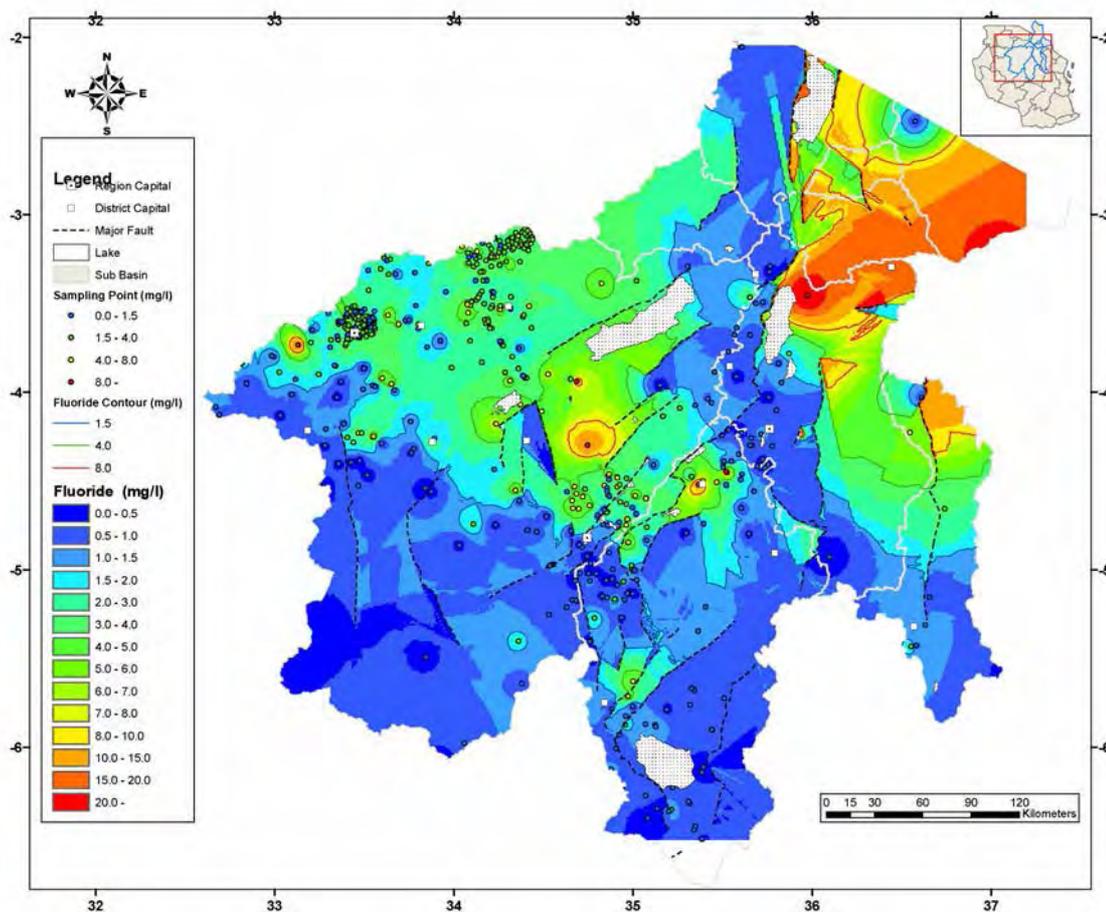


図 3-6 内部収束流域における浅層地下水のフッ素濃度分布

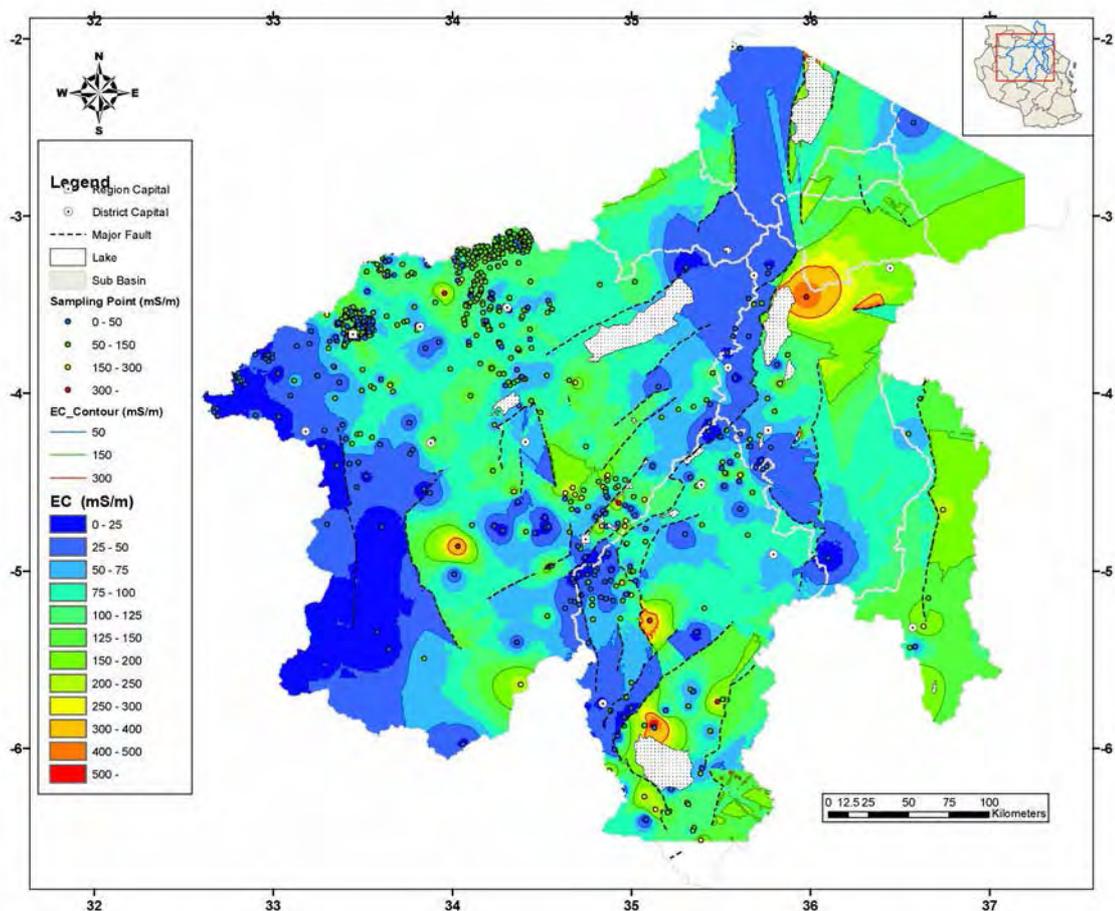


図 3-7 内部収束流域における浅層地下水の電気伝導度 (EC) の分布

図 3-8 に浅層地下水のトリリニャーダイアグラムを示す。このトリリニャーダイアグラムを見ると、本調査の浅層地下水はほとんどが領域 II、IV、V(II) (領域 II と IV の中間的組成をもつ領域) に属していた。特に、フッ素濃度の低い試料は領域 IV に属し、フッ素濃度のより高いものは領域 II に属していた。

以上のことから、フッ素濃度の高い浅層地下水と湧水は、同様な水質タイプに分類され、且つ同様なフッ素汚染過程を経ていると推察される。

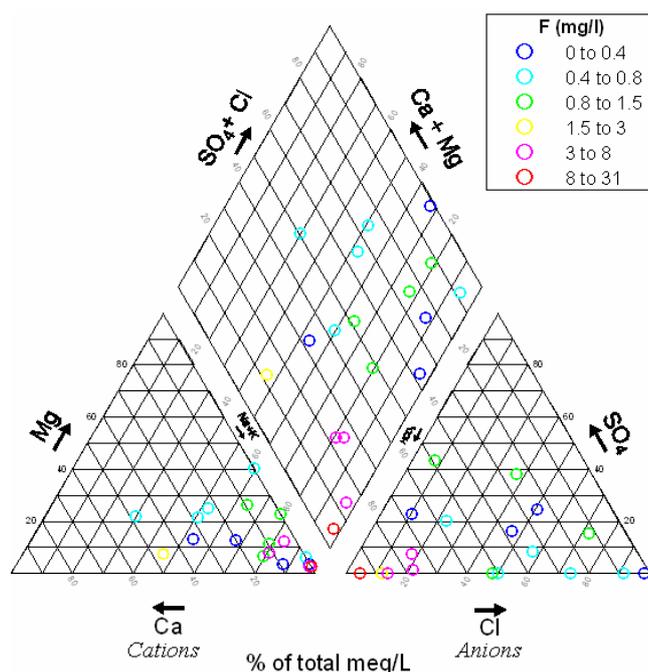


図 3-8 内部収束流域における浅層地下水のトリリニアードイアグラム

3.3.2 深層地下水の水質

調査地域における深層地下水の水質は、既存資料収集、簡易水質調査、インベントリー調査により、フッ素については 386 地点、電気伝導度は 413 地点、pH は 382 地点において調査された。深層地下水とは、ここではボーリング井戸から採取される地下水をさす。表 3-6 に深層地下水のフッ素 (F)、電気伝導度 (EC) および pH の平均水質および各濃度別の出現状況を示す。図 3-9~3-10 に深層地下水のフッ素 (F) 濃度および電気伝導度 (EC) の分布を示す。

フッ素濃度は、調査地域に関係する 6 州の中ではシニャンガ州が最も高く (平均 : 4.1 mg/l)、次いでアルーシャ州が高く (平均 : 2.7 mg/l) なっていた。特に、シニャンガ州の Kishapu 県 Ngofila 村が 35.0 mg/l と最も高く、次いでアルーシャ州の Ngorongoro 県 Piyaya 村が 31.8 mg/l となっていた。タンザニアのフッ素飲料水基準値を越すものは全体の 13%であった。

電気伝導度 (EC) は、6 州の中ではシニャンガ州が最も高く (平均 : 166.8 mS/m)、次いでシンギダ州が高く (平均 : 134.9 mS/m) なっていた。EC 150 mS/m を越すものは全体の 30%であった。pH は、6 州の中ではシンギダ州とドドマ州が高く (平均 : 7.5)、pH 6 以下のものは全体の 5%、pH 9 以上のものは 4%であった。

表 3-6 深層地下水のフッ素、pH、電気伝導度 (EC) および各濃度レベルの出現状況

Fluoride

Region	Boreholes			
	No.	Minimum	Maximum	Average
Arusha	37	0.2	31.8	2.7
Manyara	50	0.2	7.9	1.2
Dodoma	74	0.0	3.0	1.0
Tabora	28	0.4	7.9	2.1
Shinyanga	39	0.0	35.0	4.1
Singida	158	0.0	15.1	2.3
IDB	386	0.0	35.0	---

Unit: mg/l

Fluoride (mg/l)	Boreholes	
	No.	%
0-0.4	23	6
0.4-0.8	40	10
0.8-1.5	119	31
1.5-4	153	40
4-8	43	11
8-	8	2
Total	386	100

EC

Region	Boreholes			
	No.	Minimum	Maximum	Average
Arusha	38	7.7	903.0	133.7
Manyara	50	17.3	1090.0	145.7
Dodoma	74	16.1	693.0	136.2
Tabora	30	6.8	384.0	122.7
Shinyanga	39	11.9	983.0	166.8
Singida	182	6.1	1190.0	134.9
IDB	413	6.1	1190.0	---

Unit: mS/m

EC (mS/m)	Boreholes	
	No.	%
0-10	7	2
10-50	57	14
50-150	225	54
150-300	98	24
300-1000	17	4
1000-	9	2
Total	413	100

pH

Region	Boreholes			
	No.	Minimum	Maximum	Average
Arusha	38	6.1	9.3	7.4
Manyara	49	6.5	8.7	7.1
Dodoma	64	5.7	8.9	7.5
Tabora	30	6.1	9.2	7.3
Shinyanga	30	5.1	8.8	7.5
Singida	171	4.2	10.5	7.2
IDB	382	4.2	10.5	---

pH	Boreholes	
	No.	%
4-5	2	1
5-6	15	4
6-7	103	27
7-8	225	59
8-9	23	6
9-10	14	4
Total	382	100

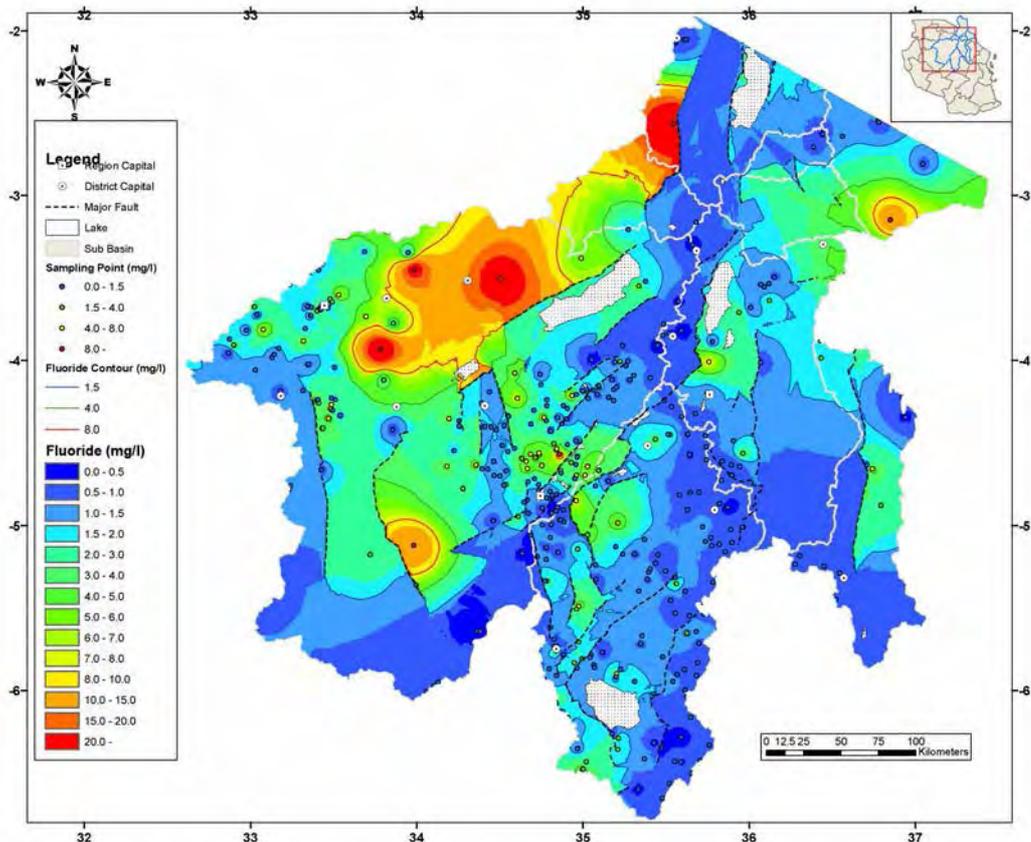


図 3-9 内部収束流域における深層地下水のフッ素濃度分布

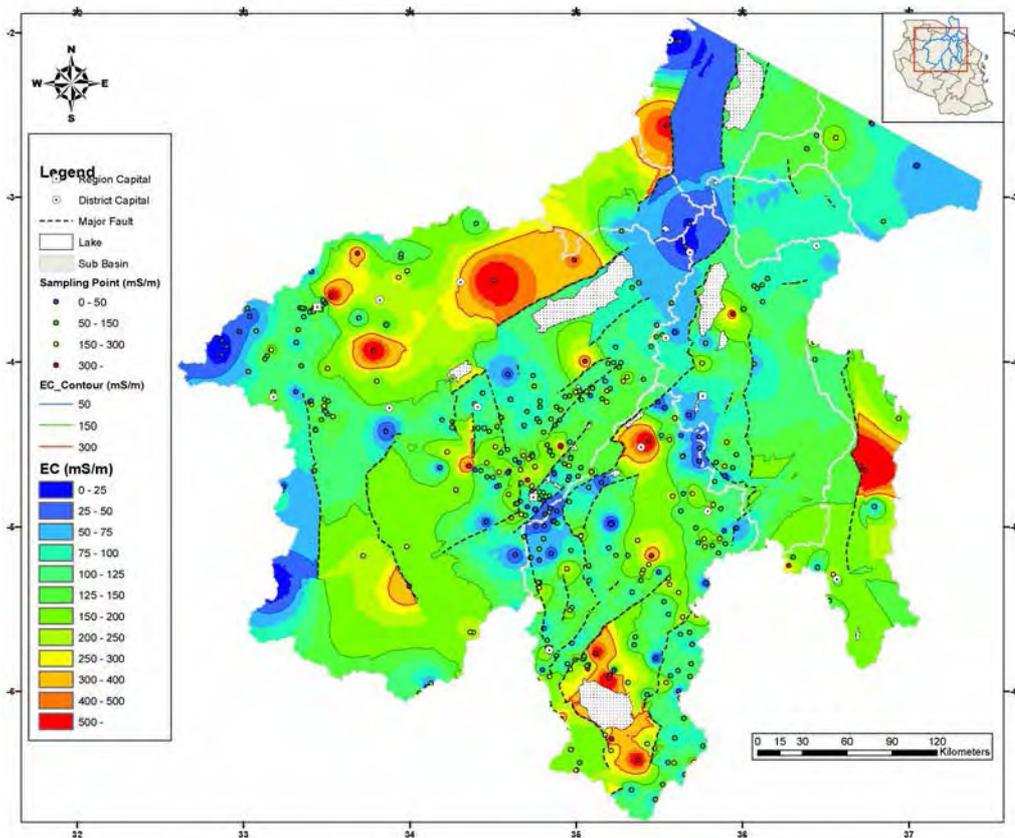


図 3-10 内部収束流域における深層地下水の電気伝導度 (EC) 分布

図 3-11 に深層地下水のトリリニヤーダイアグラムを示す。このトリリニヤーダイアグラムを見ると、本調査の深層地下水は領域 I ~ V の全領域にわたって分布していた。

特に、フッ素濃度のより高いものは、湧水と同様に領域 II および領域 IV に属するものが多くなっていた。このように、本調査の深層地下水は様々な水質タイプを持っており、地下水系が複雑であることが伺える。

また、領域 II (アルカリ重炭酸塩型) に属するフッ素濃度の高い深層地下水については、湧水や浅層地下水と同様に、滞留時間がより長く、フッ素濃度を高める化学的作用 (地層からの溶出や置換作用等) をより長期間受けていることが考えられる。

一方、領域 IV (アルカリ非炭酸塩型: NaCl 型) に属するフッ素濃度の高い深層地下水については、そのフッ素濃度を高めるメカニズムは不明であるが、本調査地域に多く見られる高濃度のフッ素を含むアルカリ塩湖からの影響であるかもしれない。

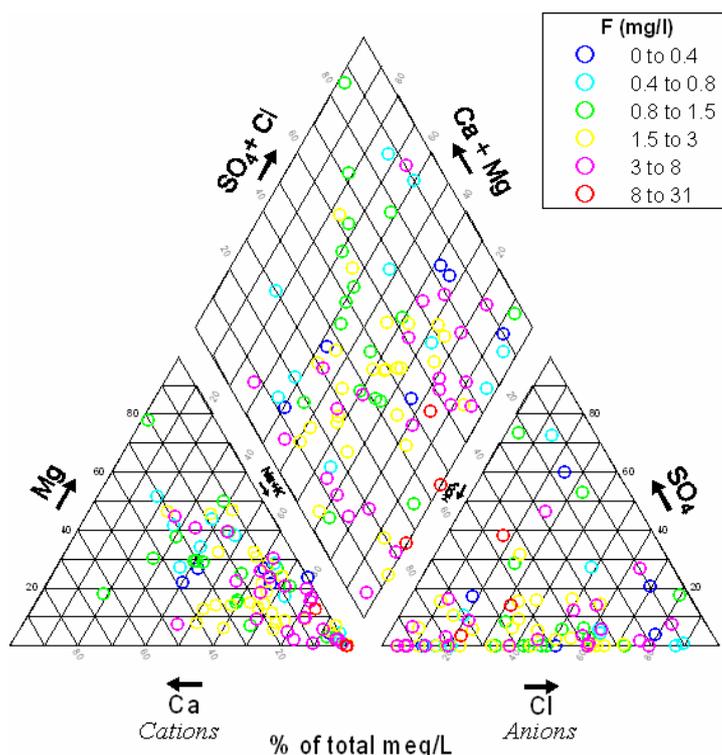


図 3-11 内部収束流域における深層地下水のトリリニヤーダイアグラム

3.4 その他の水質関連事項

3.4.1 水源水質の季節変化

乾季と雨季の降雨量の差により、地下水位や地下水の水質分布が大きく変化する可能性が考えら

タンザニア国内部収束地域における地下水開発・管理計画調査
 メインレポート 第3章 水質分析

れた。そこで、各水源の水質の季節変化を明らかにするために、簡易水質調査とインベントリー調査の結果を基に、同一地点における乾季と雨季の水質の差について調査した。雨季と乾季に同一地点で水質調査を行った地点数は 324 地点であった。表 3-7 には、州別の各水源の雨季と乾季におけるフッ素 (F) および電気伝導度 (EC) の平均水質を示す。

乾季における水源のフッ素濃度は、全サンプル平均では、雨季の 1.4 倍と高い。シニャンガ州では乾季は雨季の 4.1 倍と最も高く、次いでシンギダ州が 2.8 倍となっていた。一方、乾季における水源の電気伝導度 (EC) は、全体的に雨季の 1.1 倍であり、フッ素のような著しいに濃度上昇は認められなかった。EC はパックテストでなく、電気伝導度計により計っている。

フッ素濃度と EC の季節変化におけるこのような違いの原因としては、フッ素濃度の測定に関して、雨季と乾季で測定方法がやや異なることによると考えられる。アルーシャ州を除く各州における水源のフッ素濃度の測定は、雨季はパックテストにより実施し、乾季は携帯用のフッ素メーターにより実施した。一方、アルーシャ州では雨季、乾季とも基本的に携帯用フッ素メーターにより実施した。比色法で行われるフッ素用のパックテストは、高濃度フッ素 (フッ素濃度 1.5 mg/l 以上) の判定が難しいため、フッ素濃度の高い水源が多いシニャンガ州やシンギダ州では雨季の調査において若干高濃度フッ素の検出を見逃した可能性が考えられる。

なお、雨季、乾季とも携帯用フッ素メーターにより実施したアルーシャ州の水源のフッ素濃度は、各水源とも雨季と乾季で大きな違いは無かった。

以上の結果より、本調査地域における各水源のフッ素濃度の季節変化については、電気伝導度 (EC) の変化と同程度と考えられ、乾季に若干大きくなる程度と考えられる。

表 3-7 雨季と乾季における水源のフッ素と電気伝導度の平均水質

Fluoride															
Region	Borehole			Dug well, Shallow well, Waterhole			Dam, Pond, River and Rain			Spring			Total		
	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry
Arusha	13	1.4	1.9	2	0.7	1.8	12	4.8	4.2	28	2.2	2.1	55	2.5	2.5
Manyara	8	1.5	1.5	16	0.7	0.9	4	1.0	1.5	16	1.0	1.2	44	1.0	1.2
Dodoma	4	0.9	1.1	17	0.7	0.6	2	0.6	0.7	7	1.1	1.2	30	0.8	0.8
Tabora	11	2.0	1.4	14	0.8	0.5	9	0.5	0.8	1	0.4	0.8	35	1.1	0.9
Shinyanga	16	1.9	5.7	28	2.7	4.5	23	1.0	2.8	4	0.7	2.1	71	1.8	4.1
Singida	36	1.9	3.4	27	1.0	2.5	18	1.2	1.9	8	1.2	1.5	81	1.4	2.8
Total	88	1.8	3.1	104	1.3	2.2	68	1.6	2.4	64	1.5	1.7	316	1.5	2.4
Over twice of average in rainy season															
Unit: mg/l															
EC															
Region	Borehole			Dug well, Shallow well, Waterhole			Dam, Pond, River and Rain			Spring			Total		
	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry	No.	Rain	Dry
Arusha	13	84.4	82.3	2	46.6	45.0	12	73.1	59.1	28	53.7	53.5	55	64.9	61.3
Manyara	8	247.8	228.2	16	125.1	106.1	4	35.0	30.7	16	67.0	75.7	44	118.1	110.4
Dodoma	4	150.4	169.3	17	108.0	96.4	2	33.8	37.0	7	113.6	111.1	30	110.0	105.6
Tabora	11	66.4	98.9	14	39.9	31.2	9	22.6	42.8	1	41.5	33.8	35	43.9	55.5
Shinyanga	16	95.7	124.3	28	88.1	61.1	23	19.4	31.0	4	36.5	13.3	71	64.6	62.9
Singida	35	130.1	141.2	27	38.0	121.7	18	37.5	54.4	8	54.0	59.2	80	78.2	115.4
Total	87	120.6	133.2	104	76.8	85.2	68	35.4	43.9	64	62.3	63.2	315	77.6	85.8
Over twice of average in rainy season															
Unit: mS/m															

3.4.2 水質汚染の状況

タンザニア国では、フッ素だけでなく、硝酸、鉄、大腸菌等に関してもタンザニア基準値や WHO ガイドライン値を上回る地域が多く存在すると言われているが、これらの水質汚染状況は十分明らかになっていない。そこで、調査地域における水源の水質汚染状況を明らかにするために、簡易水質調査および室内水質分析により水源の水質調査を行った。

(1) 水源の硝酸、アンモニア、鉄、マンガン、大腸菌

調査地域における各水源の硝酸、アンモニア、鉄、マンガンおよび大腸菌の濃度別出現状況を、表 3-8 に示す。

硝酸については、一般的に家畜や人間のし尿による汚染により濃度が高くなると言われている。調査地域において 40 mg/l 以上の高い硝酸濃度を示す水源は、Dug well で最も多く、雨季と乾季において全 Dug well (104 地点) の 12~13 % を占め、次いで Borehole well が全 Borehole well (88 地点) の 7~8 % を占めていた。

アンモニアについては、硝酸と同様に家畜や人間のし尿による汚染により高くなると言われている。調査地域において 2 mg/l (タンザニアの飲料水基準値) 以上の高いアンモニア濃度を示す水源は、ダム、池、河川であり、8~16 % を占め、次いで Dug well が 7~8 % を占めていた。

鉄については、1 mg/l (タンザニアの飲料水基準値) 以上の高い鉄濃度を示す水源は、Dug well で最も多く、2~8 % を占めているが、その他水源においても 2~5 % を占めていた。

水源のマンガンについては、0.5 mg/l (タンザニアの飲料水基準値) 以上の高いマンガン濃度を示す水源は、Borehole well とダム、池、河川で多く、それぞれ 13~22 %、16~21 % を占めていた。

大腸菌については、Borehole well を除くと各水源とも 22~52 % が大腸菌により過度に汚染されており、Borehole well でも 7~15 % が過度に汚染されていた。

表 3-8 水源毎の硝酸、アンモニア、鉄、マンガンおよび大腸菌の各濃度レベル別出現状況

Items	Range (mg/l)	Rainy Season								Dry Season							
		Borehole		Dug well,		Dam, Pond, River		Spring		Borehole		Dug well,		Dam, Pond, River		Spring	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
NO3	0-1	17	19	22	21	11	17	11	17	12	14	24	23	17	25	11	17
	1-5	28	32	24	23	37	57	36	56	41	47	48	46	31	46	36	56
	5-10	11	13	14	13	7	11	7	11	8	9	6	6	3	4	8	13
	10-20	13	15	19	18	4	6	2	3	11	13	12	12	14	21	5	8
	20-40	13	15	12	12	4	6	5	8	9	10	2	2	0	0	1	2
	40-50	6	7	13	13	2	3	3	5	7	8	12	12	2	3	3	5
Total	88	100	104	100	65	100	64	100	88	100	104	100	67	100	64	100	
NH4	0-0.3	60	68	48	46	37	57	50	78	77	88	66	63	47	70	47	73
	0.3-0.6	25	28	32	31	17	26	7	11	7	8	24	23	8	12	12	19
	0.6-1.1	2	2	14	13	6	9	5	8	2	2	5	5	1	1	2	3
	1.1-2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	2-5	0	0	8	8	5	8	2	3	1	1	7	7	11	16	2	3
	5-20	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2
Total	88	100	104	100	65	100	64	100	88	100	104	100	67	100	64	100	
Fe	0-0.06	74	84	76	73	51	78	52	80	76	86	87	84	55	82	55	86
	0.06-0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.1-0.3	3	3	10	10	5	8	6	9	5	6	7	7	6	9	3	5
	0.3-0.5	3	3	7	7	5	8	3	5	2	2	4	4	4	6	3	5
	0.5-1	6	7	3	3	2	3	1	2	2	2	4	4	0	0	1	2
	1-3	2	2	8	8	2	3	3	5	3	3	2	2	2	3	2	3
Total	88	100	104	100	65	100	65	100	88	100	104	100	67	100	64	100	
Mn	0-0.5	77	88	89	86	55	85	34	53	68	77	93	89	53	79	34	53
	0.5-1	11	13	6	6	9	14	26	41	18	20	4	4	14	21	29	45
	1-2	0	0	5	5	1	2	2	3	2	2	2	2	0	0	1	2
	2-5	0	0	2	2	0	0	2	3	0	0	3	3	0	0	0	0
	5-10	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
Total	88	100	104	100	65	100	64	100	88	100	104	100	67	100	64	100	
Coliform*	N.C	47	57	14	15	6	10	32	50	65	74	32	31	18	27	15	23
	S.C	23	28	32	34	26	41	18	28	17	19	37	36	16	24	19	30
	E.C	12	15	49	52	31	49	14	22	6	7	35	34	33	49	30	47
	Total	82	100	95	100	63	100	64	100	88	100	104	100	67	100	64	100

Coliform: N.C (Not Contaminated), S.C (Slightly Contaminated), E.C (Extremely Contaminated)

図 3-12 には IDB における乾季の硝酸、アンモニア、鉄、マンガンの分布状況を示す。

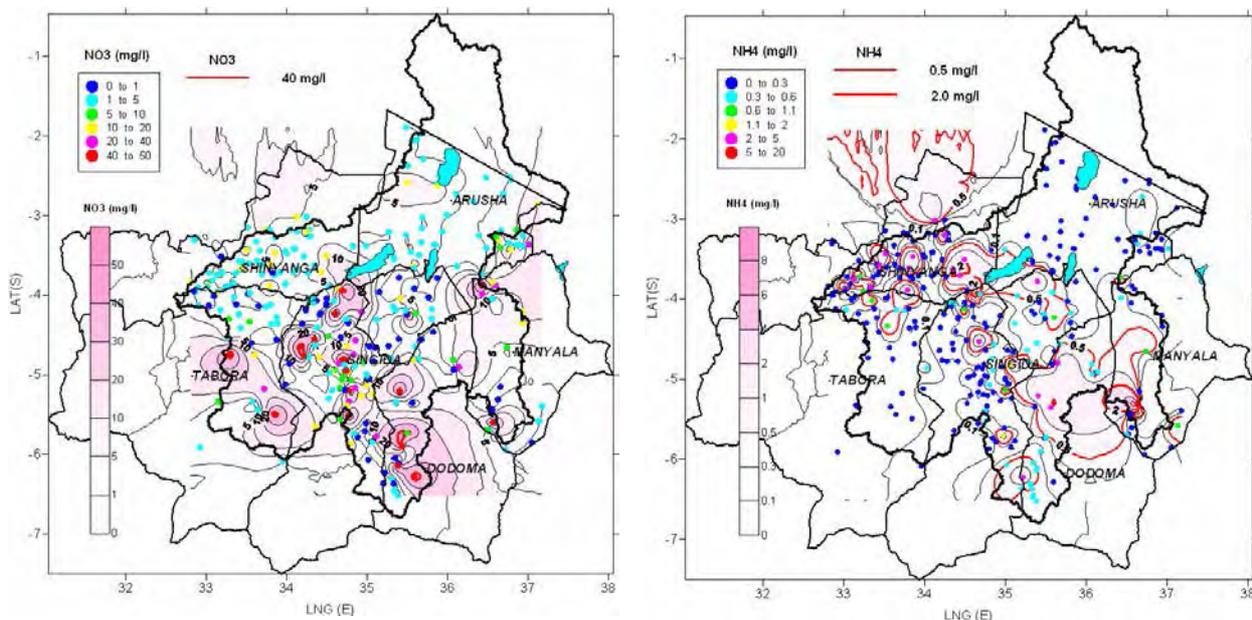


図 3-12 (1) 内部収束流域における乾季の水質の硝酸、アンモニアの分布

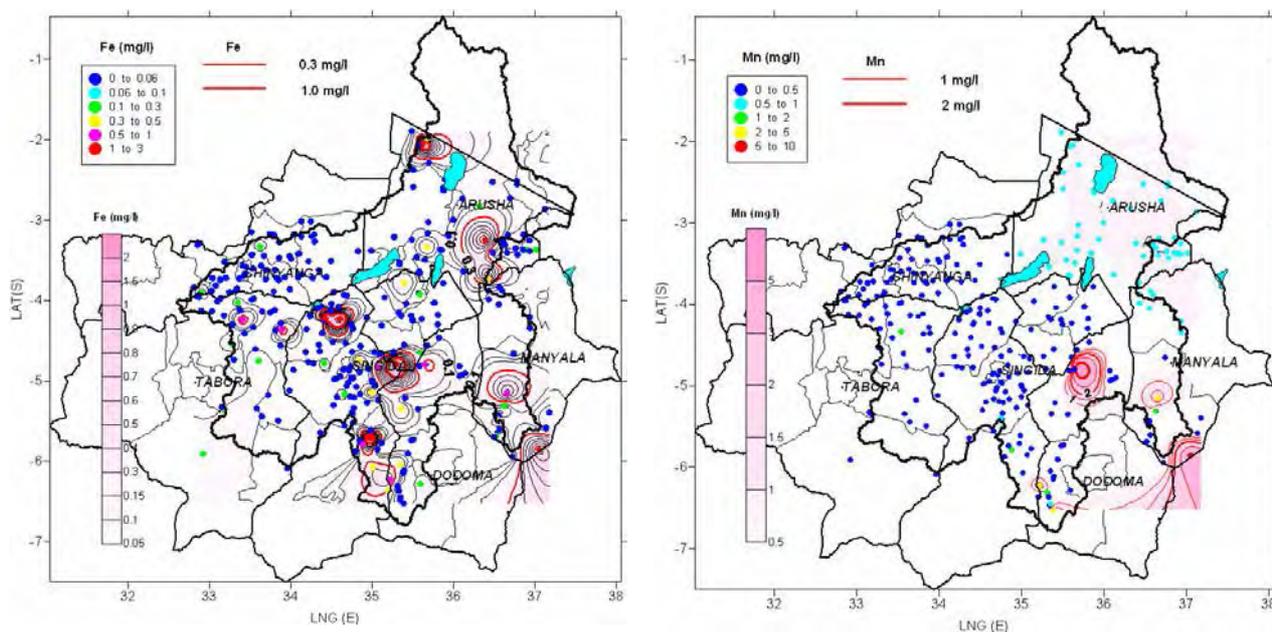


図 3-12 (2) 内部収束流域における乾季の水源の鉄、マンガンの分布

3.4.3 水源中の有害物質

本調査の室内水質分析結果を基に、本調査地域における既存水源についてタンザニア国および WHO ガイドラインで定めている健康影響項目（有害物質）および飲料水・生活用水の適性に係る項目に関するそれぞれの基準値の適合状況を確認した。図 3-13 には室内水質分析用に採取した既存水源の適合状況を示す。

健康影響項目の中の重金属類についてみると、6 価クロムは 139 試料のうち 1 試料、バリウムは 6 試料（全試料の 4.3%）がタンザニアおよび WHO の基準値を越していた。一方、亜鉛に関しては、タンザニア基準値を超えるものは無かったが、WHO ガイドライン値を超えるものは 3 試料（2.2%）あった。

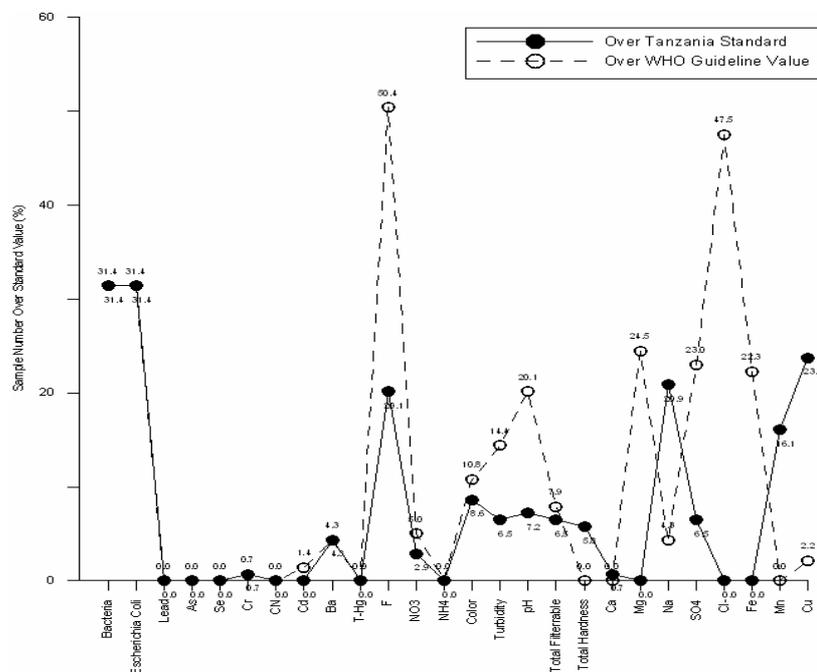


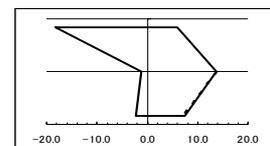
図 3-13 飲料水の基準値に対する適合状況

3.4.4 水源のフッ素と他の水質項目との関係

前述の3.2.2で述べたように、フッ素濃度の高い水源についてはトリリニヤーダイアグラムの領域II（アルカリ重炭酸塩型）に属するものと領域IV（アルカリ非炭酸塩型：NaCl型）に属するものがある。そこで、水源のフッ素の供給源や濃度増加のメカニズムを明らかにすることを目的に、トリリニヤーダイアグラムと同様に水源の主要成分である（ Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- ）に関するヘキサダイアグラム（hexadiagram）を作成し検討した。ヘキサダイアグラムは、左側に陽イオン、右側に陰イオンをプロットし、各点を直線で結んで図形にする。この図形の形により、地下水系の区分や、地下水の移動に伴う水質変化を解析した。また、ヘキサダイアグラムは、両サイドに幅広い図形は、これらの成分濃度が高く、逆に細い図形は成分濃度が少ないことを表している。

調査地域全体の水源のヘキサダイアグラムを図3-15に示す。また、高濃度フッ素の水源が比較的多いサブ流域Aのヘキサダイアグラムを図3-16に示す。高濃度フッ素のある地点はアルーシャ州ではKaratu県、Arumeru県、Ngorongoro県、マニャラ州ではHanang県、Simanjiro県、タボラ州ではIgunga県、シニャンガ州ではMeatu県、Kishapu県、シンギダ州ではManyoni県、Singida Rural県となっている。これらの地点はフッ素濃度の高い火山性の地質構造をもつ地域であり、また、近くにはフッ素濃度の高いアルカリ塩湖（NaCl型湖）が点在している。

フッ素濃度が8 mg/l以上の水源については、右図のような形のヘキサダイアグラムが多くなっている。この形のヘキサダイアグラムは、陽イオン側で Na^+ + K^+ の濃度が高く、 Ca^{2+} 濃度が低い。陰イオン側で HCO_3^- の濃度が高く、 Cl^- 濃度が低いことを示している。



フッ素濃度が8 mg/lより低い水源については、右図の形を持つヘキサダイアグラムに加えて、両サイドに大きく広がった逆三角形（□）のヘキサダイアグラムも多く見られる。この形のヘキサダイアグラムは、陽イオン側で Na^+ の濃度が最も高く、陰イオン側で Cl^- 濃度が最も高いことを示している。なお、調査地域の南部では、これら2つの形を持つヘキサダイアグラムが幾つか見られるが、比較的フッ素濃度は低く、これら地域はフッ素濃度の高い上記のような供給源が少ないことが示唆される。

これらのヘキサダイアグラムによる結果および前述のトリリニヤーダイアグラムによる結果から考えると、調査地域におけるフッ素濃度の高い水源には、アルカリ重炭酸塩(NaHCO_3)を多く含むものとアルカリ非炭酸塩(NaCl)を多く含むものがあり、特にアルカリ重炭酸塩(NaHCO_3)タイプはアルカリ非炭酸塩(NaCl)に比べ、よりフッ素濃度が高い傾向にある。このアルカリ重炭酸塩(NaHCO_3)タイプの地下水がフッ素濃度を高めるメカニズムについては、Gunnar Jacksら(2005)によって報告されている。Gunnar Jacksら(2005)は、本調査結果と同じく、南インドの地下水においてCa、Mgの減少とNa、 HCO_3^- の増加は密接に関係していることを報告している。炭酸塩鉱物であるカルサイト(CaCO_3)やドロマイト($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)は風化の過程で HCO_3^- を生成することから、彼らは図3-17に示すようにフッ素含有量の高い火性岩や炭酸塩鉱物の風化と蒸発作用による

炭酸塩鉱物の沈積により、F、Na および HCO_3^- 濃度が高くなると説明している。(図 3-14 参照)

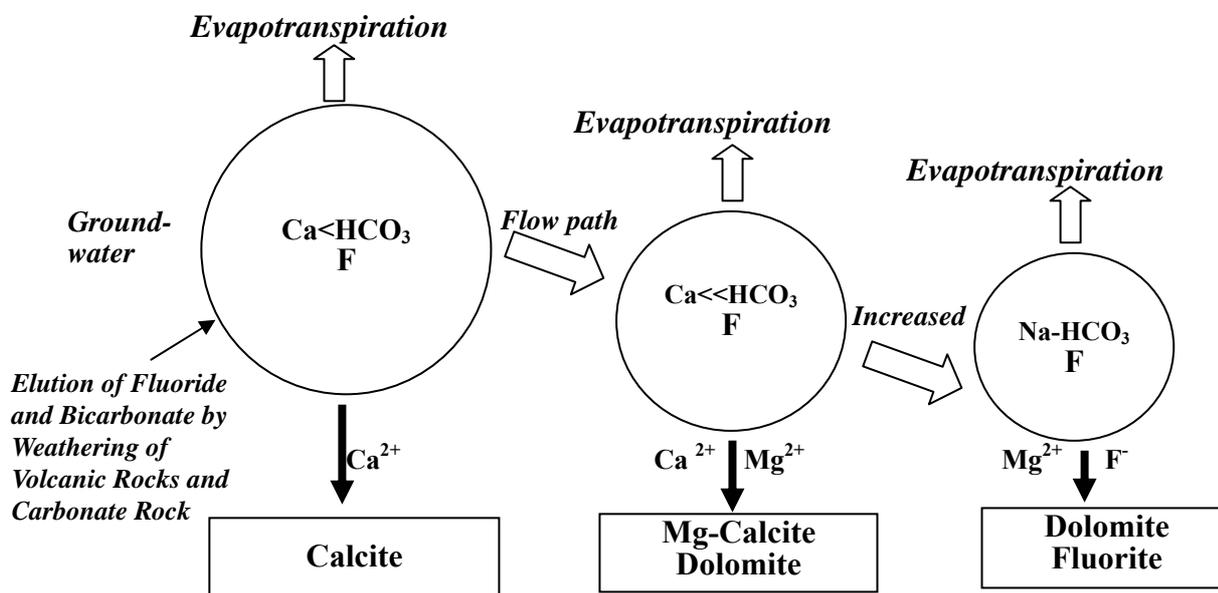


図 3-14 南インドにおける地下水のフッ素の高濃度化のメカニズム

(Source: Gunner Jacks et al (2005) "Controls on the genesis of some high-Fluoride Groundwater in India")

以上の結果より、調査対象地域における水源のフッ素の供給源としては、火山性の地層からのフッ素の溶出とともにアルカリ塩湖からの影響（地下水への浸透）も考えられる。また、調査地域においては、地下水の滞留時間が長い地域ほど、地層からのフッ素の溶出を受けやすく、さらに蒸発作用や炭酸塩物との交換反応により、地下水のフッ素濃度が著しく高くなることが考えられる。

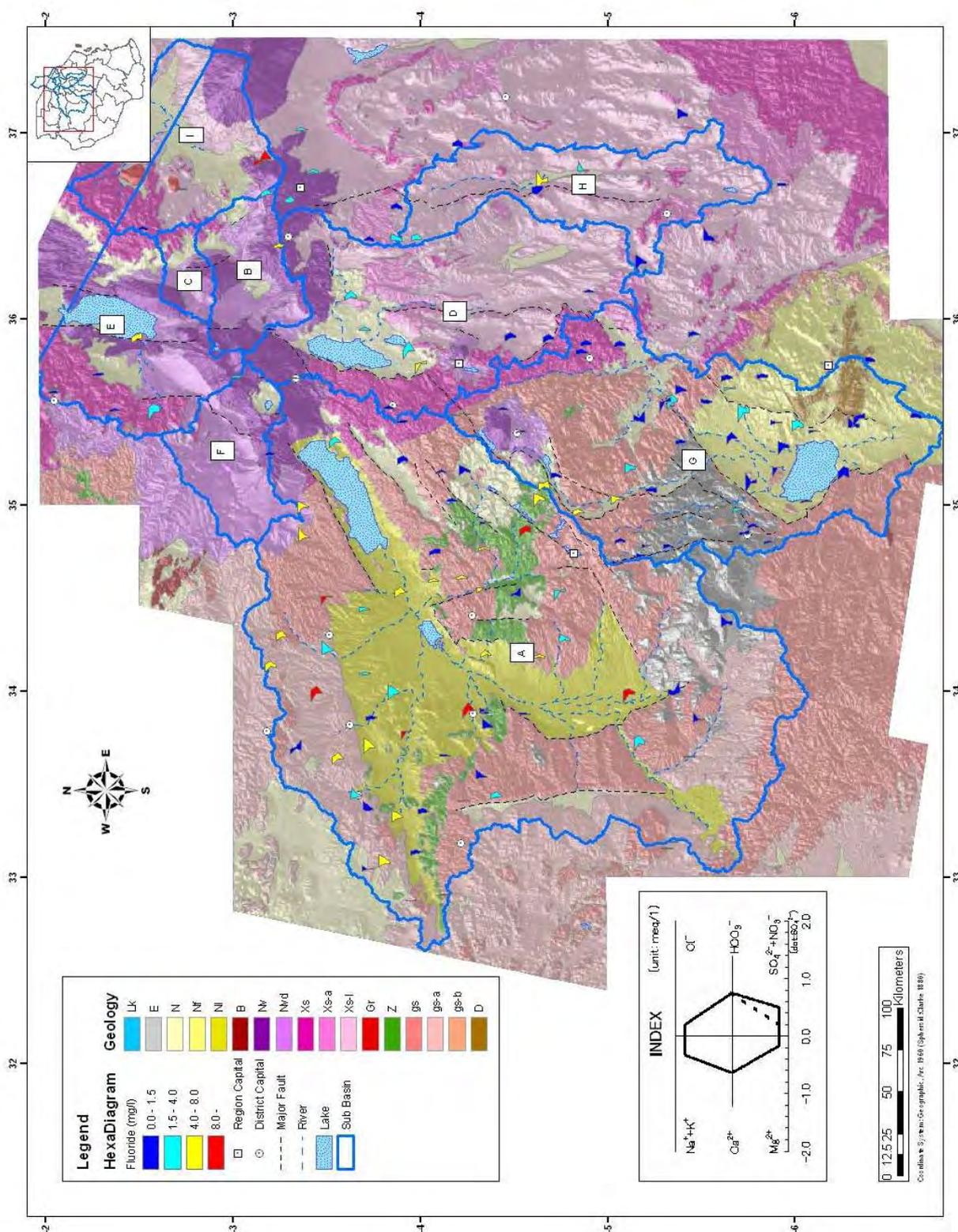


図 3-15 全流域における既存水源のヘキサダイアグラム

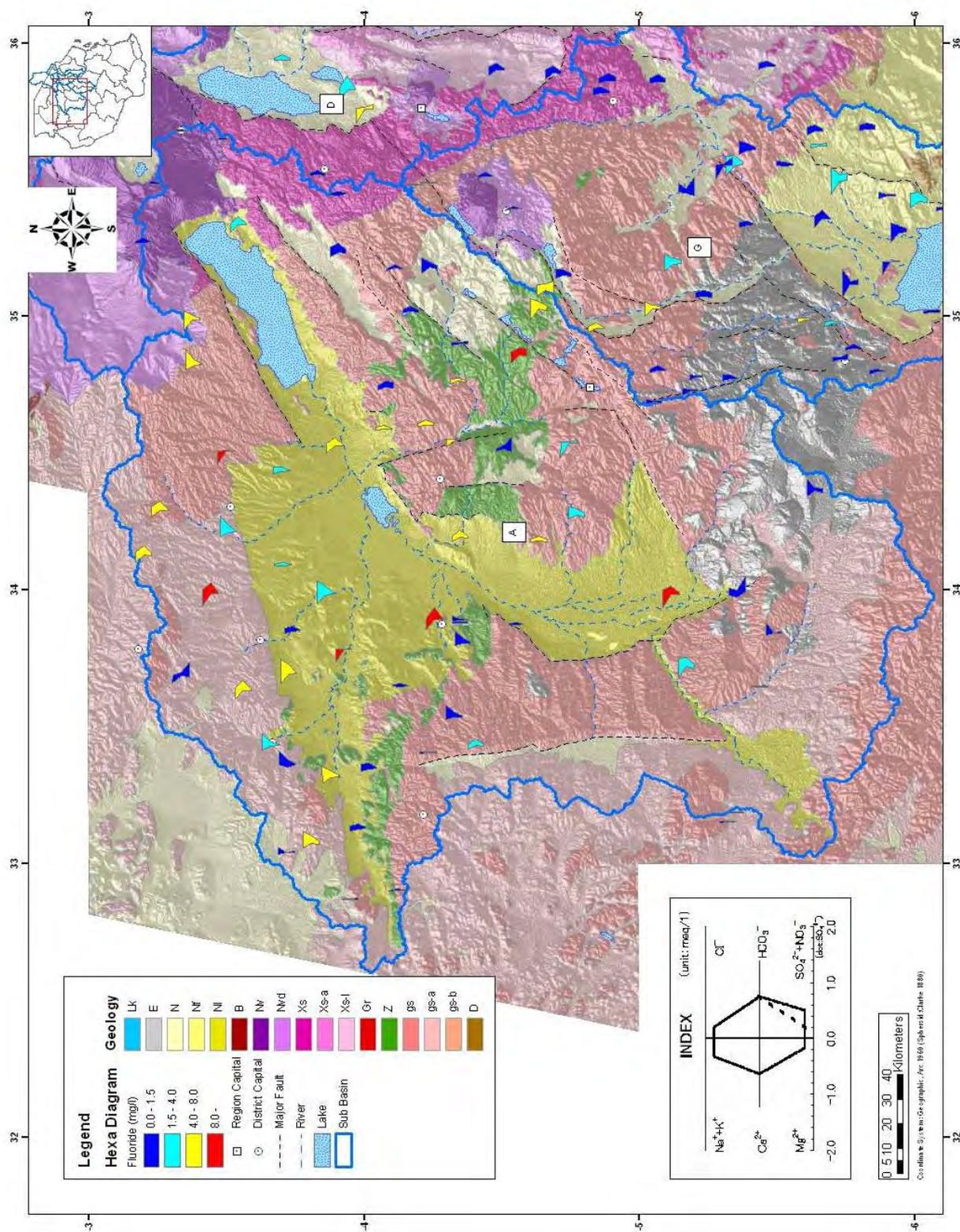


図 3-16 サブ流域 A における既存水源のヘキサダイアグラム

3.5 フッ素および水因性疾患

3.5.1 フッ素症および水因性疾患に対する認識

社会経済調査実施期間中に、村民のフッ素症および水因性疾患に対する認識調査を質問票および聞き取り調査により実施した。

(1) 主な水因性疾患の罹患状況と病気に対する認識

対する認識

IDB に住む村民は、伝統的 Dug well、雨水の溜り水、池、湖などの汚染された水源を日常生活で使っている。図 3-17 に示したように、主な水因性疾患は、下痢 (41%)、腸チフス (34%)、目の病気 (11%) である。雨期には手近に汚染された水源があるため、このような水因性疾患は乾期よりも雨期に多い。

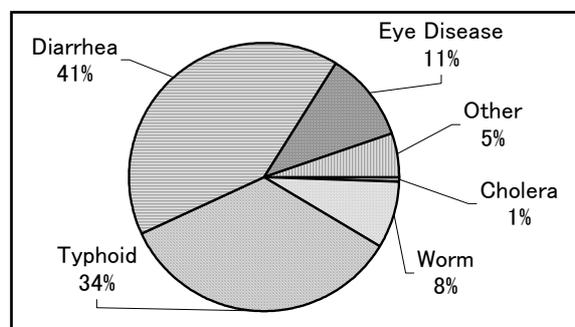


図 3-17 水因性疾患の割合

社会経済調査の結果によれば、村民の 73% が水因性疾患の原因を理解しており、大部分の人が、安全な水/衛生的な生活が病気を予防する、と答えている (図 3-18 参照)。しかしながら、図 3-19 に示したよう、煮沸した水を使用しているのは住民の 27% であり、残り 63% の住民は直接水源の水を飲用している。

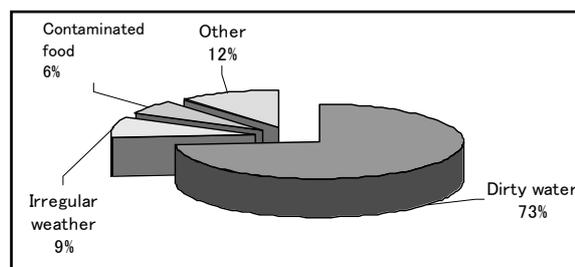


図 3-18 水因性疾患の原因

(2) フッ素症

1) 村民の認識

社会経済調査の結果によれば、村長の 56% がフッ素症について知っているが、村民は 33% しか知らない (図 3-20 参照)。

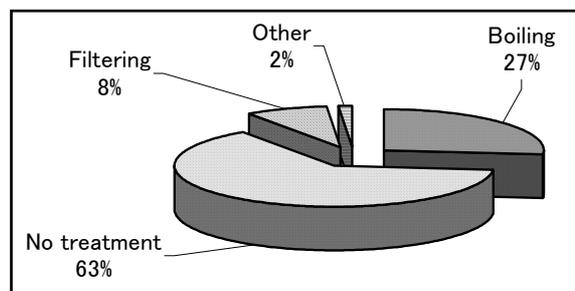


図 3-19 飲料水の前処理状況

2) 問題解決の課題

斑状歯調査における聞き取り調査によれば、半数以上の回答者が彼らの村あるいは家族に茶色い歯の症状がある、と答えている。彼らはフッ素症の原因を知っているため、飲料水等には他の水源を使おうとしているが、選択枝となる水源を持たない村もある。

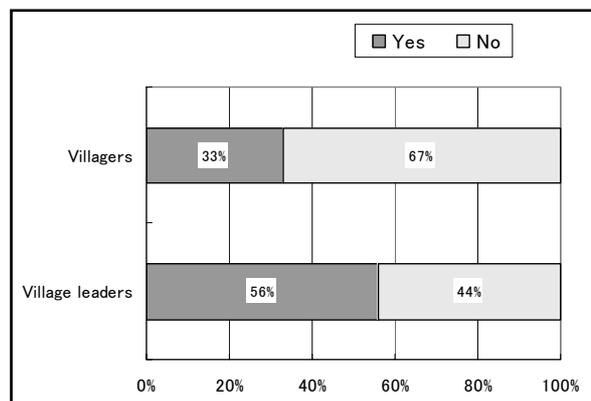


図 3-20 フッ素症の認識

3) マガディ（トロナ）の使用状況

タンザニアではマガディと呼ばれる岩塩がフッ素症の主な原因のひとつであると言われている。社会経済調査の結果によれば、IDB 内の村民の大半がマガディを使っているが、マガディが高濃度のフッ素を含んでいることは知られていない。村民は、ムレンダ（Murenda）と呼ばれる伝統的野菜料理を調理する際にマガディを使う習慣がある。マガディの主な産地は IDB 内や周辺の湖や湿地である。IDB におけるフッ素症の原因は水だけでなくマガディの可能性もある。

3.5.2 フッ素の健康影響

飲料水に含まれるフッ素は日々のフッ素摂取に大いに関係している。飲料水中のフッ素は 1.0 mg/l までであれば、虫歯予防になることが知られている。表 3-9 に示すように、高濃度のフッ素は有害であり、フッ素症を引き起こす。慢性的なフッ素の毒性は、腱、靭帯や関節皮膜、特に脊椎における早期の脱石灰作用を起こす（Teri, 1982 in Mjengera, 1988）。骨格に関するフッ素症の臨床症状は、内反膝や外反膝、胸部の硬直、手足の動きの障害、および運動機能障害性フッ素症（Crippling Fluorosis）と呼ばれる深刻な関節収縮である(Nanyaro et al., 1984)。

図 3-23 に示すように、アルーシャ州のマジヤチャイ村において行われた年齢別の新しい調査結果によれば、フッ素症に罹っている割合が最も多いのは 18 歳から 27 歳の人たちであり、一方、57 歳以上の人たちの割合は最も低いことが示唆された（Eliuze, 2004）。表 3-10 には、ディーン指標（Dean Index）により表したアルーシャ州 Maji ya Chai 村の学童たちのフッ素症発生割合を示す。

表 3-9 フッ素症の分類

Fluoride Concentration of Drinking Water (mg/L)	Likely Disease	Symptoms
1.5 – 3	Dental Fluorosis	Objectionable mottling of the teeth
4 – 8	Skeletal Fluorosis	Malformation of the bones; Movement difficulties
> 10	Crippling Fluorosis	Bone functions growing together; Immobility

Source: WHO, 1994



図 3-21 運動機能障害性フッ素症の症状 (Eliuza,2004)

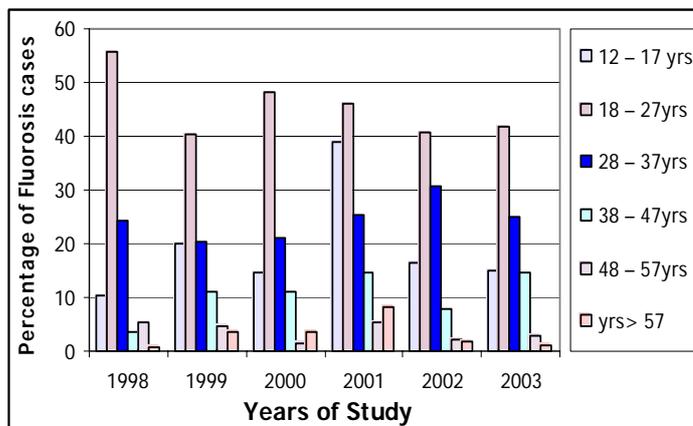


図 3-22 アルーシャ州 Maji ya Chai 村における年齢別フッ素症分布図 (Eliuza,2004)

表 3-10 アルーシャ州 Maji ya Chai 村における学童のフッ素症出現率

Name of School	Fluoride (mg/L)	Total Number of Pupils	Scores												Mean CFI*
			Normal		Trace		Very mild		Mild		Moderate		Severe		
			No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
Embaseni	2.8	96	0	0	0	0	0	0	12	13	41	43	43	45	3.32
Ngurdoto	8.5	43	0	0	0	0	0	0	3	7	8	19	32	74	3.67
Kitefu	2.95	120	0	0	9	7.5	15	13	54	45	31	26	11	9.2	2.2
Nkoanekol	1.7	50	0	0	3	6	22	44	25	50	0	0	0	0	1.47

*CFI: Community Fluorosis Index

(Expressed in terms of Dean Index (modified from Eliuza, 2004))

3.5.3 フッ素除去技術

「除去」とは、ここでは、「処理水中のフッ素を取り除く、あるいは減少させる可能性のあるすべての機構の総合効果」に対応する言葉である。フッ素除去技術はある程度開発され、試行されている。また過剰なフッ素の除去技術の研究、実験、適用は世界中で行われている。

実験が行われたフッ素除去には色々な検討すべき因子があり、実際に適用するには時期尚早である。これらの除去技術の中には効果的なものもあるが、高価かつ複雑であり、開発途上国においては最良の選択肢とはなりえないであろう。処理費用はプロジェクト毎に異なるため、様々な方法の費用を正確に求めることは難しい。表 3-11 には 3 種類の処理方法について整理・比較した結果を示す。

表 3-11 フッ素処理方法の比較

番号	方法	原理	フッ素処理能力	コスト	備考
1	活性アルミナ法	活性アルミナによる吸収	1,000-9,600 mg F/L	22.7kg当たりの活性アルミナの価格は\$94.5	コストがかかり処理が比較的複雑。
2	骨炭法	吸収	最高94%	比較的低い	処理中に発生する色を取り除く必要がある。大量の骨の入手性も考慮が必要。
3	電気透析	蒸留	7 mg F/L → 1.4 mg F/L	施設の規模により高額	複雑な処理が必要。

3.5.4 他ドナー、NGO および国際組織のフッ素除去方法

水省はアルーシャに Ngurdoto フッ素除去研究センターを設立した。しかしながら、現在タンザニアにおいては、水のフッ素除去に関係した活動を行っているドナー、NGO、国際組織はない。

3.5.5 水因性疾患

水因性疾患は主にその性質、感染経路、影響と管理状態により様々で、水に関係して健康に悪影響があるものは以下の4種類に分類される。

- 水系感染症(例：コレラ、腸チフス、細菌性赤痢、小児麻痺)
- 水不足による病気(例：トラコーマ、皮膚病、ハンセン氏病)
- 水経由の病気(例：メジナ虫、住血吸虫症、肺吸虫)
- 媒介動物による病気(例：マラリア、黄熱、デング熱、眠り病)

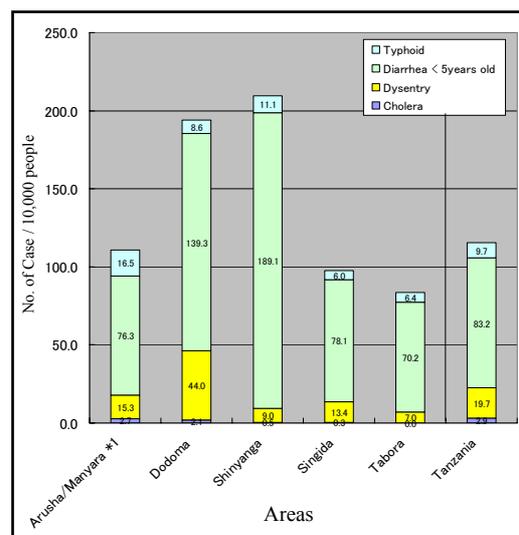


図 3-23 内部収束流域における水系感染症の現況

(No. of Case / 10,000 people in 2003. Data Source: Ministry of Health)

IDB における水系感染症の現況を図 3-23 に示す。本図から、シニャンガ州、ドドマ州で水系感染症の割合が高いことがわかる。

3.5.6 内部収束流域におけるフッ素健康被害調査

(1) 調査目的

フッ素健康被害調査は、斑状歯の広がりや深刻度およびフッ素の影響を受けた歯に関する心理学的事項を知るために実施した。

(2) 調査内容

調査は、対象村落で生まれ育った12歳から18歳までの青少年2912人を対象にして、2007年7月から9月の間に行われた。まず、IDB内の18県の中からフッ素濃度レベルが1.5mg/l以上の村を調べ、その後、図3-24に示す96村落を無作為に抽出した。また、各村落からは無作為に学校をひとつ選出した。その各学校において年齢が12歳から18歳までの男女各15人を割り当て抽出法で選出した。被験者は生まれてからずっと対象村落に住んでいる青少年である。

斑状歯の診断は、表3-12に示すThylstrup Fejerskov Index (TFI)を用いて行われた。その後、被験者に対し、斑状歯に関する知識およびこの病気に関係した心理的事項についての聞き取りが行われた。この聞き取りには、組織的かつ自由回答形式の質問票を用いた。調査器具には、現場でテスト済みの正当かつ信頼性のあるものを用いた。その後、水質試験用試料とマガディを収集・分析し、その結果をデータ・ファイル化してフッ素濃度と斑状歯の関係分析に供した。

表 3-12 斑状歯の診断のための Thylstrup and Fejerskov Index (TFI)

Score	Criteria
Sound	Normal translucency of enamel remains after prolonged air-drying.
Questionable 1	Narrow white lines corresponding to the perikymata.
Very Mild	2 Smooth surfaces: More pronounced lines of opacity that follow the perikymata. Occasionally confluence of adjacent lines. Occlusal surfaces: Scattered areas of opacity < 2 mm in diameter and pronounced opacity of cuspal ridges.
	3 Smooth surfaces: Merging and irregular cloudy areas of opacity. Accentuated drawing of perikymata often visible between opacities. Occlusal surfaces: Confluent areas of marked opacity. Worn areas appear almost normal but usually circumscribed by a rim of opaque enamel.
Moderate	4 Smooth surfaces: The entire surface exhibits marked opacity or appears chalky white. Parts of surface exposed to attrition appear less affected. Occlusal surfaces: Entire surface exhibits marked opacity. Attrition is often pronounced shortly after eruption.
	5 Smooth surfaces and occlusal surfaces: Entire surface displays marked opacity with focal loss of outermost enamel (pits) < 2 mm in diameter.
Severe	6 Smooth surfaces: Pits are regularly arranged in horizontal bands < 2 mm in vertical extension. Occlusal surfaces: Confluent areas < 3 mm in diameter exhibits loss of enamel. Marked attrition.
	7 Smooth surfaces: Loss of outermost enamel in irregular areas involving < 1/2 of entire surface. Occlusal surfaces: Changes in the morphology caused by merging pits and marked attrition.
	8 Smooth surfaces and occlusal surfaces: Loss of outermost enamel involving > 1/2 of surface.
	9 Smooth surfaces and occlusal surfaces: Loss of main part of enamel with change in anatomic appearance of surface. Cervical rim of almost unaffected enamel is often noted.

Source: Thylstrup and Fejerskov, 1978. As reproduced in "Health Effects of Ingested Fluoride", National Academy of Sciences, 1993; pp. 171

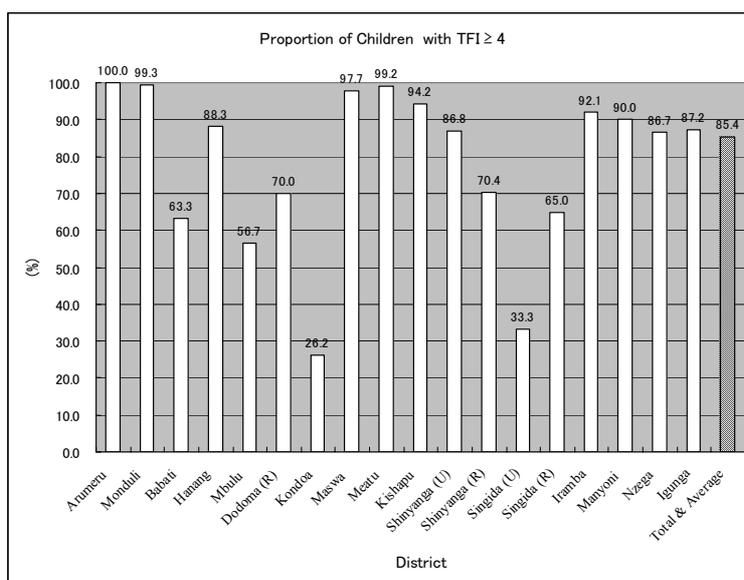


図 3-24 TFI ≥ 4 の被験者の割合

(3) 調査結果

斑状歯の広がり、TFI スコア 3~7 が大半で 96.3 %を占めた。図 3-25 に示したように、TFI スコア 4 以上の歯を少なくとも一本以上ある被験者の数は全体の 85.4 %あった。6 州全体での TFI スコア平均は 3.4 であった (表 3-13 参照)。TFI スコア平均値は年齢や性別では変化しなかった。TFI スコア平均値はアルーシャ州が 4.3 と最も高く、ついでシニャンガ州が 3.5、シンギダ州が 3.4、マニャラ州が 3.3、タボラ州が 2.8、最後のドドマ州が 1.8 であった。

また、各県別の TFI スコア平均値を図 3-26 に示した。これによれば、Arumeru 県の TFI スコア平均値が 4.8 で一番高く、Manyoni 県が 4.2、Meatu 県が 4.1 と続いた。最小レベルは Singida Urban の 1.4 と Kondoia 県の 1.5 であった。

村落別の TFI スコア分析から、シニャンガ州の Kolandoto 村の TFI 平均値が最も高く (5.2)、アルーシャ州の Olkungwado 村 (4.9)、Lemong'o 村 (4.8) と続くことが判った。最小レベルはを記録したのはシンギダ州の Iyumbu 村 (0.4) であった。

表 3-13 州別 TFI スコア平均値

Region	No. of Children	Average TFI
Arusha	150	4.3
Dodoma	91	1.8
Manyara	330	3.3
Shinyanga	1,245	3.5
Singida	941	3.4
Tabora	155	2.8
Total	2,912	3.4

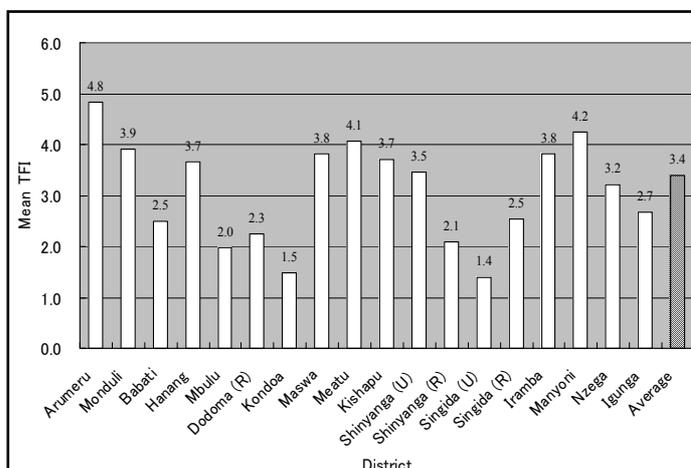


図 3-25 県別 TFI スコア平均値

(4) 水に含まれるフッ素とフッ素症の関係

本調査は本格的な疫学的調査手法により水に含まれるフッ素と斑状歯の相関を証明する類の調査ではなく、あくまで IDB 内における斑状歯の実情を知るために計画されている。しかし、両者の関係を概括することは十分に価値がある。

図 3-26 に各村の TFI スコアと水のフッ素濃度の関係を示す。このフッ素濃度データは 2006 年の乾期に本調査団によって実施された水質調査により得られたものである。本図にはいくつか異常なデータがあるにも係わらず何らかの関係があるように見えるが、正確な統計解析手法であるピアソン相関解析の結果は、特段の相関は認められない。明確な相関が見られない理由は、飲料水とマガディによる個人々人へのフッ素影響の複雑さにある。個人々人へのフッ素影響は 1 年を通した彼らの生活行動に強く影響されている。その上、水質調査が行われた水源と被験者が使用する水源とは必ずしも一致していない。

表 3-14 に、対象村落から採取したマガディ試料中のフッ素含有量を示す。その含有量は州毎、マガディ試料毎に大きく変化するため、マガディの摂取によるフッ素の影響は大変複雑である。

図 3-27 に調査対象村落毎の TFI 平均スコアおよび 2006 年乾期の水のフッ素濃度分布を示す。

表 3-14 マガディのフッ素含有量

Region	No. of Sample	Mean F (mg/kg)	Range of F (mg/kg)	
			Min.	Max.
Arusha	4	12,660	1,138	23,000
Dodoma	3	2,025	44	5,978
Manyara	7	222	4	1,199
Shinyanga	39	2,648	4	12,074
Singida	32	3,636	3	31,000
Tabora	5	3,455	46	11,000
Total	90	3,455	3	31,000

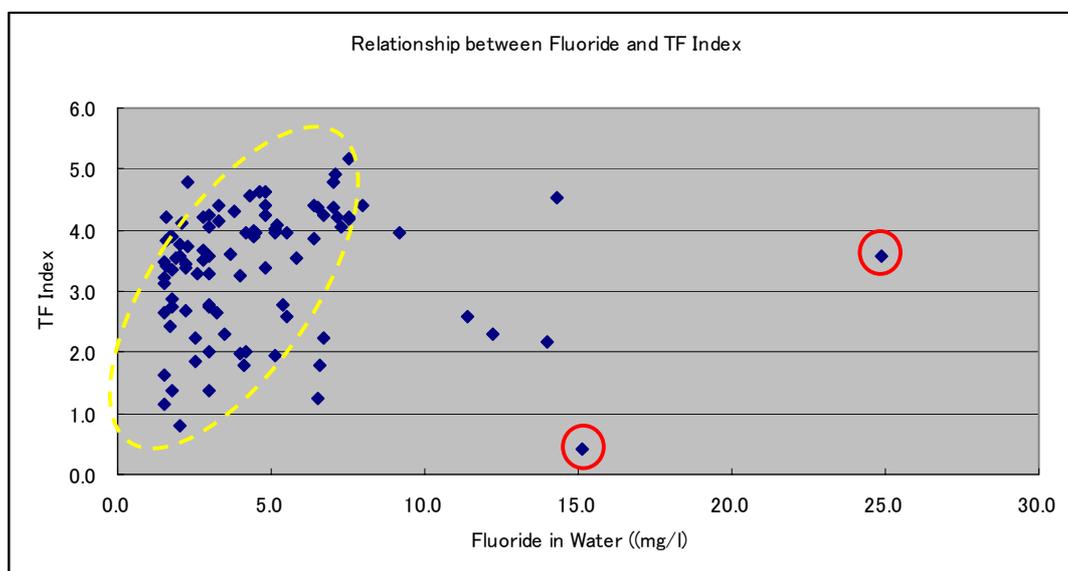


図 3-26 水中のフッ素濃度と TFI スコアの関係

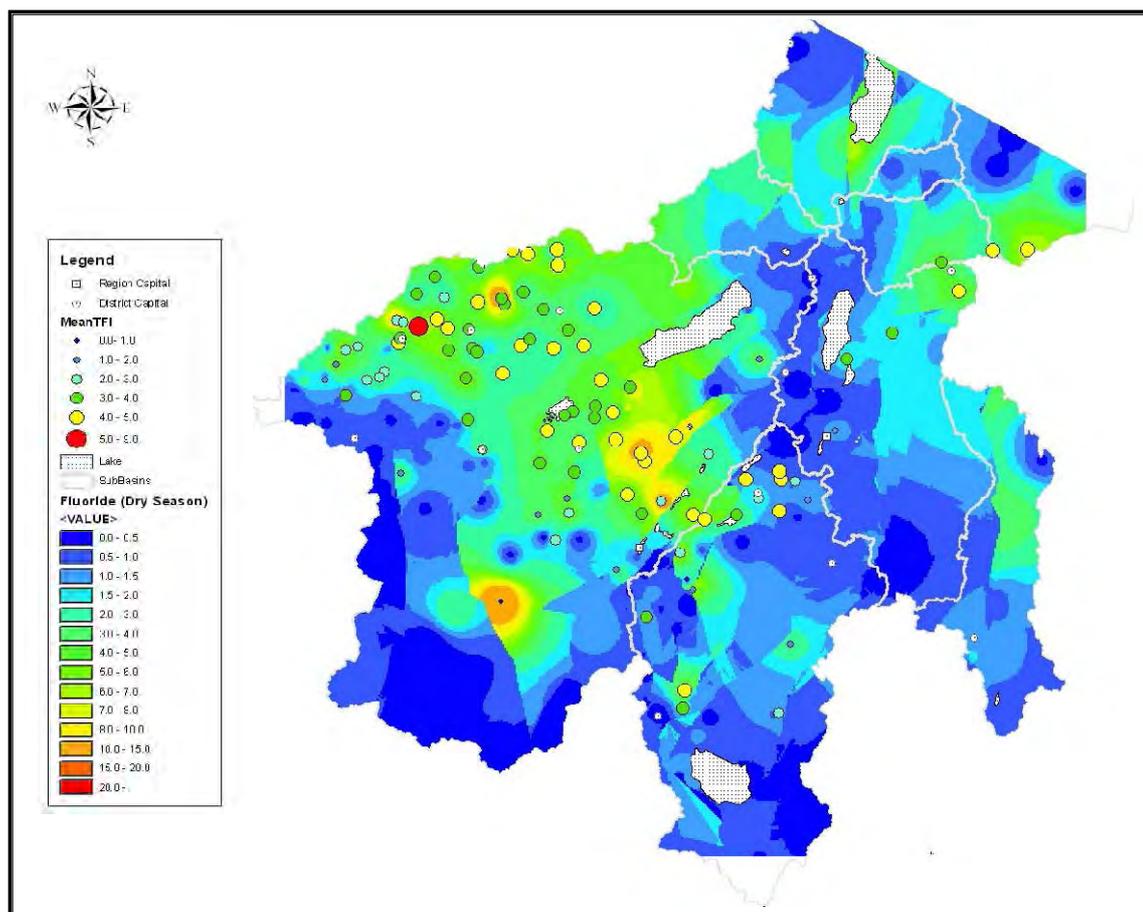


図 3-27 調査対象村落毎の TFI 平均スコアおよび 2006 年乾期の水のフッ素濃度分布

(5) 質問票による調査の結果

斑状歯調査の一部として行われた質問票による調査の結果概要を表 3-15 に示す。これによれば、被験者の 96.4%以上が、自分の村にフッ素症に感染した歯を持っていることを認めている。68%の被験者が自身の歯がフッ素症に感染していることに気づいている。またほぼ同割合の人達が家族にフッ素症に罹った歯を持っていると報告している。59%の被験者はフッ素症に感染した歯をはずかしいと感じていると報告している。2/3 の人達(66.2%)が自身のフッ素症の歯に不満を感じている。また 48.4%の人達がそのために劣等感を感じている。2/3 の人達(59.6%)が自身の外見に満足しておらず、そのうちの 62%の人達が自分は魅力的ではないと考えていた。自覚に関する平均スコアから判断すると、これらの被験者たちは高いスコアレベルにある傾向

表 3-15 斑状歯に関する質問票調査結果の概要

Question on Dental Fluorosis	Yes		No		Total no.
	no.	%	no.	%	
Seen fluorotic teeth in village	2,747	94.6	155	5.3	2,902
Own teeth are fluorotic	1,993	68.7	909	31.3	2,902
Family member have fluorotic teeth	1,955	67.4	945	32.6	2,900
Fluoride in water cause fluorosis	1,082	37.2	1,829	62.8	2,911
Fluoride in magadi cause fluorosis	703	24.1	2,208	75.9	2,911
Fluorosis is inherited	164	5.6	2,746	94.4	2,910
Fluorosis is caused by tooth decay	213	7.3	2,698	92.7	2,911
Stop using high fluoride magadi prevents fluorosis	742	25.5	2,169	74.5	2,911
Stop using high fluoride water prevents fluorosis	956	32.8	1,955	67.2	2,911

があり、茶色くなった歯に不満を感じていると思われる。

高フッ素濃度の水が斑状歯の原因であることを知っている被験者はわずか37.2%であり、高フッ素濃度のマガディがやはり斑状歯の一因であることを知っているのはさらに少なく、わずか24.1%である。少ないが注目値するのは、5.6%の被験者が斑状歯は親から遺伝すると信じていたり、7.3%の被験者が斑状歯は歯の劣化に

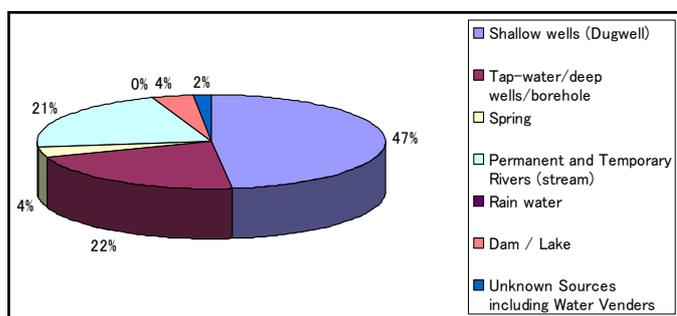


図 3-28 被験者が日常使用する水源

より起きると考えていたりすることである。一般的に言って、口腔衛生に関する無関心により歯が茶色になることがある。大局的に見れば、大半の人は斑状歯の原因を知らなかったと言える。

また質問票調査から、彼らの日常の水源が次のようであることが明らかになった。すなわち、浅井戸(48%)、主に深井戸からの給水(21.5%)、河川(20.9%)、湧水(3.9%)、ダム/湖(3.9%)、不明(1.6%)、雨水(0.1%)であった(図 3-28 参照)。60.6%の被験者達が年間を通じて同じ水源の水を使用していた。使用水源数は通常1箇所以上であった。

3.5.7 フッ素症対策

IDB におけるフッ素症の状況は本調査における健康被害調査により明らかとなった。水中のフッ素除去にはいくつかの方法があるが、社会経済的見地から、その IDB (特に農村部) への適用は、大変難しいと言わざるを得ない。しかしながらその影響およびリスク管理の観点から、フッ素問題の啓発キャンペーン、よりよい水源使用に関する指導およびマガディ使用の制限は、抜本的な対策を実施する前の暫定的対策として実施可能である。