

タンザニア国
水省 内部収束流域管理事務所

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

ファイナルレポート メインレポート

平成 20 年 2 月
(2008年)

独立行政法人 国際協力機構
(JICA)

OYOインターナショナル株式会社
国際航業株式会社

タンザニア国
水省 内部収束流域管理事務所

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

ファイナルレポート
メインレポート

平成 20 年 2 月
(2008年)

独立行政法人 国際協力機構
(JICA)

OYOインターナショナル株式会社
国際航業株式会社

2008 年 01 月の為替レート : US\$1.00 = Tanzanian Shilling Tsh 1,108.83
= Japanese Yen ¥ 114.21

序 文

日本国政府はタンザニア国政府の要請に基づき、「内部収束地域における地下水開発・管理計画調査」を行うことを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施いたしました。

当機構は、平成17年10月から平成19年11月までの間、4回にわたりOYOインターナショナル株式会社の山本憲史氏を団長とし、同社及び国際航業株式会社から構成される調査団を現地に派遣しました。また、平成17年9月から平成19年12月の間、国内支援委員会を設置し、本調査に関し専門的かつ技術的な見地から検討・審議が行なわれました。

調査団はタンザニア国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。この報告書が本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係者各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成20年2月

独立行政法人 国際協力機構

理事 松本 有幸

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

伝 達 状

平成 20 年 2 月

独立行政法人 国際協力機構

理事 松本 有幸

「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」の最終報告書をここに提出いたします。本報告書はOYOインターナショナル株式会社および国際航業株式会社から構成される共同企業体が、平成17年9月22日、平成18年6月14日および平成19年5月21日に調印された貴機構との契約書に基づき作成したものです。

本調査では、内部収束地域の自然・社会条件に係る現況を調査し、水理地質図を完成させるとともに、将来計画のために地下水開発ポテンシャル評価を行ったものであります。

報告書は、要約、主報告書、付属報告書、GIS図面集、データ集によって構成されています。付属報告書は、調査項目あるいは専門別の詳細な内容となっています。しかしながら、主報告書は調査結果の内容に沿った構成となっており、要約は概してそれを要約したものとなっています。GIS図面集は、水理地質図、地下水開発ポテンシャル評価図を含み、本調査を通じて作成された主要地図類が掲載されています。また、データ集には本調査で使用された全ての基礎データ類・図面がまとめられています。

最後に、調査団は貴機構、外務省、他ドナー、各NGO さらにタンザニア国の関係者の皆様のご支援に厚く感謝を申し上げますとともに、調査結果がタンザニア国内部収束地域の地下水資源の適正な開発・管理に寄与し、さらに、これを機会として両国の友好関係がより深まることを祈念いたします。

タンザニア国内部収束地域における地下水開発・管理計画調査団

総括 山本 憲史

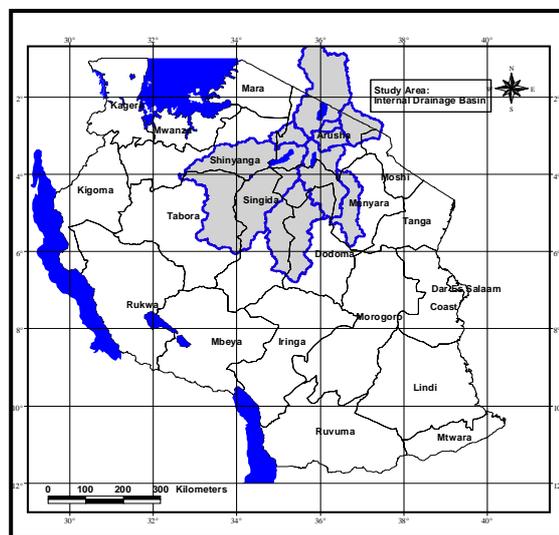
要 旨

1. 調査の背景

内部収束流域（以下 IDB と称す）は、タンザニアの北東部に位置する、公称面積 153,800 km² のタンザニアで第 2 番目に大きな流域である。アルーシャ、シニャンガ、マニャラ、ドドマ、シンギダそしてタボラの 6 州に広がっている。IDB のほぼ全域が年間降水量 600 mm～900 mm の範囲にあり、その可能蒸発散量は 2,000 mm/年を超えている。トウモロコシの生育の限界年降水量が 600 mm/年とされているので、IDB の水資源状況はかなり厳しいと言える。

さらに、IDB ではその自然状況、特に表流水、地下水中のフッ素等の有害物質や無機塩類の集積をもたらす内部収束水系ゆえの水質問題がある。このような状況で水資源開発、なかでも安全で安定した水供給を行うための地下水開発が緊急の課題となっている。しかしながら、既存給水施設、水文、地形、水理地質、水質、社会経済等のデータが総合的に管理されていないため、給水計画の策定やその実施に支障を来している。

水資源を包括的な手法で管理するため、内部収束流域管理事務所（以下 IDBWO と称す）が 2004 年 10 月 29 日に設立された。しかしながら、IDBWO の予算、機材、人材等の不足により、まだ十分機能していない。



内部収束流域位置図

2. 調査目的

上記の状況から、本調査は IDB における飲料水供給計画のために、地下水開発ポテンシャルを評価し、水質汚染地域を明らかにするために企画、実施された。調査の主な目的は以下の通りである。

- 内部収束流域のための水資源開発・管理、給水計画に必要な情報を盛り込んだ水理地質図を作成すること。
- 水省ならびに本調査に関係する諸機関のカウンターパートの能力開発を行うこと。

3. 調査地域の概要

3.1 内部収束流域の定義

IDB の正確な境界を SRTM(Shuttle Rader Topography Mission) による DEM (Digital Elevation Model)

の標高データを解析して再定義した。その結果、タンザニア国内の IDB 面積は従来の 15.38 万 km² が 14.31 万 km² となった。

3.2 行政界

IDB の境界は、流域管理のための水文条件に基づく定義であり、既存の行政界とは異なる。IDB が含む行政区は 24 県、3 市、1,650 超の村落に及び、その人口は、約 450 万人と推定された。

3.3 気象、水文

IDB の気候タイプは、主に熱帯サバンナ気候に属し、6 月～10 月の乾季と 11 月～5 月の雨季とに分かれ、平均年間降水量は大半が 600～900 mm/年であるが、ケニアの国境に近い IDB 北東部では 1,000mm/年以上の地域もある。

IDB は、9 サブ流域に分けられ、殆どの河川は季節河川で、12 月～7 月位までは流れがあるものの、それ以外は枯れ川となる。川の水は全て流域内の大小様々な湖や湿地(Swamp)などに流入して内部収束してしまう。

3.4 地形・地質

IDB の地形地質学的な特徴は、“East African Rift System (EARS)”と密接な関連がある。EARS の Eastern Rift すなわち Gregory Rift が IDB をほぼ南北に走っている。この Rift (地溝帯) が Natron、Eyasi、Manyara 湖等を生むこととなった。IDB の地質は、大きく 1)基盤岩である先カンブリア紀の花崗岩類及び変成岩類、2)第三紀から第四紀にかけて形成された火山岩類、そして現在の Bahi 湿地、Wembere 湿地などの周辺に分布する 3)第三紀～現在の堆積層に区分される。IDB 北東部に分布する火山岩類はキリマンジャロや Ngorongoro クレーターを初めとした多くの火山地形を呈し、その出現も EARS との関連が強い。IDB 内には EARS に伴うものと思われる断層地形が数々見られ、地下水探査にとって重要な地質構造として注目される。

3.5 社会経済状況

IDB の社会経済状況を、関係する 6 州の県レベルによる既存統計資料で概観すると以下の通りである。

- タンザニア国土の約 15%の面積を占める IDB に約 450 万人が住んでおり、その 9 割は地方に住んでいる。
- IDB における GDP の約半分は農業セクターが占めており、主要農産物は食料作物がメイズ、ソルガム、米で、換金作物はコーヒー、綿、たばこ等である。
- 家畜は、全頭数の約 50%を牛、山羊約 30%、羊約 15%の割合となっている。
- IDB 内の道路舗装率は、約 3% (全国平均 12.2%) と非常に低く、電力普及率も僅か 5%である。
- IDB における給水率は、37.5%で、全国平均 53.1%を下回っている。
- 水資源が不足しているため、耕作地、灌漑地が 3 割程度しか利用されていない。

一方、IDB の地方の社会経済状況を把握するために行った村落調査 (100 村落)、世帯調査 (400 世帯) そしてインタビュー調査 (20 村落) の結果は以下通りである。

- IDB 内の村における平均世帯収入は 92 万シリング/年で、水に関する支出、衛生に関する

支出はそれぞれ収入の 5%、3%である。

- 給水に関しては、村人は水の安全・安定性よりも水汲みが楽でコストが掛からない伝統的手掘井戸を利用する傾向がある。
- 村落の給水問題は、水源までの距離が長いことのみならず、給水施設能力不足による待ち時間が長いことにも注意すべきである。
- 村民は、給水施設新設のための一定の負担及び維持管理費の積み立てについては理解しているが、水利権料の支払いについては余り理解していない。

4. 水質分析とフッ素問題

4.1 水質分析

簡易水質調査（サイト試験）を雨季 264 ヶ所、乾季 317 ヶ所について実施し、室内水質分析は試験掘井を含む既存水源 157 検体について行った。その結果と既存データとを総合的に解析した結果、以下のような IDB 内の水質特性が明かとなった。

- 調査地域の多くの湖沼は最大水深 3m 以下の塩湖が多く、フッ素濃度が極めて高いものが多い。
- 表流水については、河川、ダム、池のフッ素濃度はシニャンガ州が高く（平均 2.4 mg/l）、スプリングはアルーシャ州が高い（平均 2.6 mg/l）。
- 地下水については、浅層地下水のフッ素濃度はアルーシャ州が高く（平均 3.0 mg/l）、深層地下水はシニャンガ州が高い（平均 4.1 mg/l）。
- 水源水質の季節変化は、乾季の方が雨季に比べ若干水質が悪くなるが、その割合は雨季の 1.1~1.4 倍程度であった。
- ヘキサダイヤグラムおよびトリリニャーダイアグラムによる解析結果によると、IDB の高いフッ素濃度を持つ地下水にはアルカリ重炭酸塩 (NaHCO_3) 型とアルカリ非炭酸塩 (NaCl) 型の 2 タイプがあり、水の滞留時間がより長い傾向にあるアルカリ重炭酸塩 (NaHCO_3) 型の方がよりフッ素濃度が高い傾向にあった。

4.2 フッ素問題

IDB におけるフッ素問題の全般的な状況を把握するために斑状歯調査が実施された。

- IDB 内の 96 村 2,912 人の子供を対象に斑状歯調査を行った。その結果、中程度 (TFI>4) のフッ素の影響がある歯が少なくとも 1 本以上ある子供の割合が 85.4% という高比率であった。
- IDB の新期火山岩が分布する北東部、及び花崗岩が地下に分布するシニャンガやシンギダ周辺で明らかな斑状歯が認められた。
- 州毎の平均では、最悪がアルーシャ (TFI 4.3)、最低がドドマ (TFI 1.8)、でシンギダは TFI 3.4 であった。

- ▶ 飲料水中のフッ素濃度と歯斑の程度（TFI）との相関は、ある程度認められるが、一般にフッ素の含有が非常に高い Magadi の影響も考えられ、必ずしも地下水中のフッ素だけがフッ素病の原因とはこの段階では言い切れない。
- ▶ フッ素除去技術については、技術的には複数の対策が可能であるが、社会経済的側面から實際上、IDB の村落への適応は困難である。フッ素病に対する抜本的な対策の前に、フッ素問題の啓蒙やよりよい水源、Magadi の使用抑制のガイダンスが、インパクト軽減あるいはリスクマネジメントの観点から当面の対策として必要である。

5. 組織制度とキャパシティデベロップメント(CD)プログラム

「タ」国では、新しい統合水資源管理(IWRM)の概念を導入した国家水政策（NAWAPO, 2002年）に基づいて水資源開発・管理がなされている。内部収束流域管理事務所(IDBWO)は、NAWAPOの2年後に新たに設置されたため、本調査が開始された時にはよく機能していなかった。そこで、技術強化と組織強化プログラムからなるCDプログラムがIDBWOの業務能力アップを目的に実施された。

6. 水理地質と水収支解析

6.1 地下水資源探査

本調査において、既存井戸データベースを構築するとともに物理探査（204サイト）、試掘調査（30本井戸）を実施した結果、IDBにおける地下水特性解明のための貴重なデータを入手した。物理探査では、基盤深度を確認するとともに、深度方向の比抵抗値分布から帯水層の可能性を評価し、試掘地点の最終決定に役立てた。試掘調査では、実際の地質構造図並びに地下水の存在を確認し、揚水試験によりその帯水層特性並びに揚水可能量を求めた。

6.2 水理地質

既存データ、物理探査・試掘調査・水質調査・衛星画像解析・社会経済調査等の結果を含むIDBの水資源管理データベースに基づいてIDBの水理地質状況を解析した。地下水生産性を静水位、基盤岩深度、揚水量そして地下水流動方向によって評価した。高い生産性を示す地域は1)大地溝帯に付随する断層系に沿った地域、2)火山周辺、3)花崗類と変成岩の境界付近である。また、花崗岩類の裂っか型の帯水層中にも期待出来る。一方、堆積層地域では細粒物質が集積しているため生産性は低い。これら結果は、水理地質図に取りまとめられた。

6.3 水収支の検討

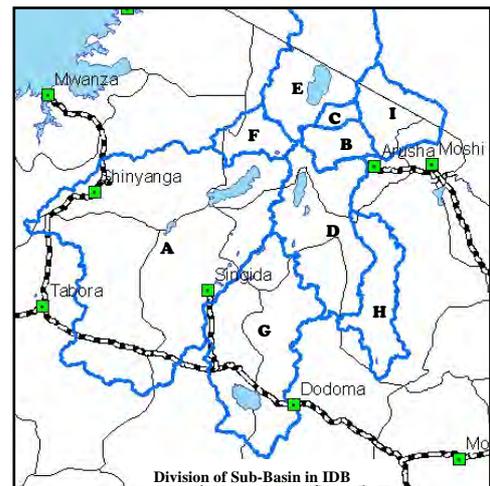
既往の気象・水文資料、衛星画像解析により得られた調査対象地域の標高データ・土地被覆分類図を用いて、以下の3種類の水収支解析を実施した。1)内部収束流域内の全サブ流域の月別水収支解析、2)雨期を対象にした内部収束流域内全サブ流域の浸透可能量解析（75mメッシュでの計算）、3)サブ流域Gにおける河川流出量を考慮した雨期・乾期の浸透可能量解析（75mメッシュでの計算）。その結果、以下の事項が明らかになった。

- ▶ 乾期の地下水涵養量は内部収束流域ではほぼゼロである。

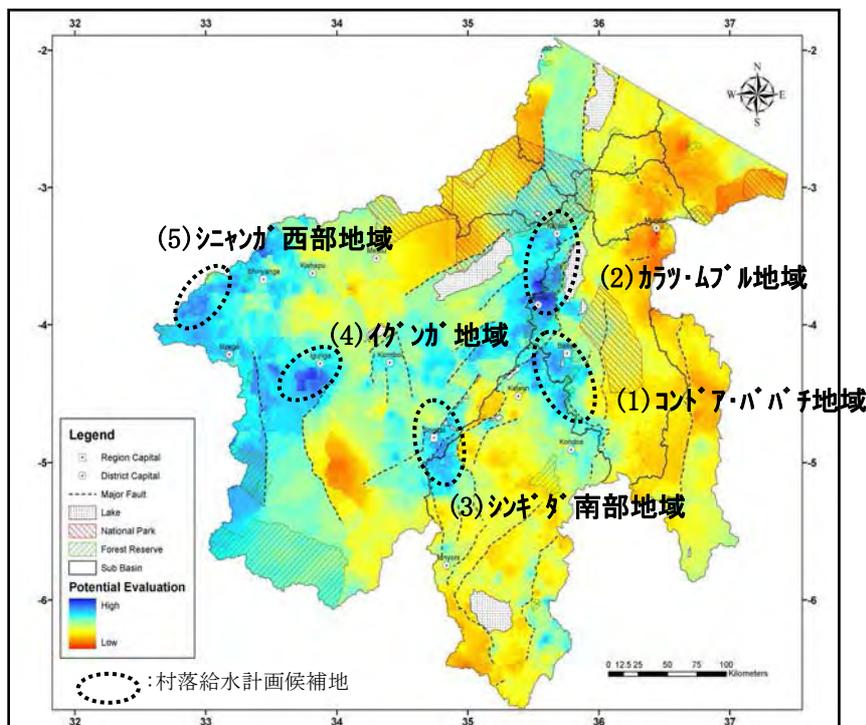
- 調査地北部の年間地下水涵養可能量（単位面積当り）は南部に較べると大きいと4月に偏る傾向がみられる。一方、南部では雨期の月毎地下水涵養可能量は安定している。
- エヤシ湖、マニャラ湖周辺は降雨量が多く、地下水涵養可能量も多い。
- タボラ周辺は雨期に量的には多くはないが月毎に安定した降雨があり、安定的な地下水涵養が期待される。
- サブ流域Gの雨季の河川流出率は2%～11%程度である。
- サブ流域Gの地下水涵養可能量は流域の北東部で大きく、南西部で小さい。

7. 地下水開発ポテンシャル

ステークホルダーに理解しやすく、かつ利用しやすい地下水開発ポテンシャルマップが作成された。水理地質、水文学的な見地から地下水ポテンシャルを評価することが、本調査の主な目的の一つであるので、これによって容易にポテンシャルの高い地域を識別することができる。社会条件も考慮した評価についてもケーススタディーとして実施した。地下水ポテンシャル評価と人口密度、給水率の社会状況とを総合的に評価した結果、次の5地域 1) コンドア・ババチ地域、2) カラツ、ムブル地域、3) シンギダ南部地域、4) イグンガ地域、5) 西部シニャンガ地域が相対的に村落給水計画の適地として有望であると言える。



内部収束流域のサブ流域



地下水ポテンシャル評価と村落給水計画候補地域

目次

ファイナルレポート

メインレポート

序文
伝達状
要約
目次
表目次
図目次
略語一覧

第1章	序章	1 - 1
1.1	調査の背景	1 - 1
1.2	調査目的	1 - 1
1.3	調査対象地域	1 - 2
1.4	調査の実施	1 - 3
1.5	調査工程	1 - 3
1.6	調査関係者等	1 - 5
1.7	報告書の構成	1 - 6
第2章	調査地域概要	2 - 1
2.1	内部収束流域の定義	2 - 1
2.2	気象および水文	2 - 3
2.2.1	気象	2 - 3
2.2.2	水文	2 - 10
2.2.3	水利用	2 - 12
2.3	地形・地質	2 - 14
2.3.1	地形	2 - 14
2.3.2	地質	2 - 15
2.4	内部収束流域の社会経済状況	2 - 21
2.4.1	内部収束流域の社会経済概況	2 - 21
2.4.2	社会経済調査結果	2 - 24
第3章	水質分析	3 - 1
3.1	はじめに	3 - 1
3.1.1	調査方法	3 - 1
3.1.2	調査地点	3 - 4
3.2	表流水の水質	3 - 4
3.2.1	主要な湖沼の水質	3 - 4
3.2.2	河川、ダム、池、湧水の水質	3 - 5
3.3	地下水の水質	3 - 9
3.3.1	浅層地下水の水質	3 - 9
3.3.2	深層地下水の水質	3 - 12

3.4	その他の水質関連事項.....	3 - 15
3.4.1	水源水質の季節変化.....	3 - 15
3.4.2	水質汚染の状況.....	3 - 17
3.4.3	水源中の有害物質.....	3 - 19
3.4.4	水源のフッ素と他の水質項目との関係.....	3 - 20
3.5	フッ素および水因性疾患.....	3 - 24
3.5.1	フッ素症および水因性疾患に対する認識.....	3 - 24
3.5.2	フッ素の健康影響.....	3 - 25
3.5.3	フッ素除去技術.....	3 - 26
3.5.4	他ドナー、NGO および国際組織のフッ素除去方法.....	3 - 27
3.5.5	水因性疾患.....	3 - 27
3.5.6	内部収束流域におけるフッ素健康被害調査.....	3 - 28
3.5.7	フッ素症対策.....	3 - 32
第4章	水理地質	4 - 1
4.1	既存資料の収集.....	4 - 1
4.1.1	ボアホール・データベース.....	4 - 1
4.1.2	給水施設データ.....	4 - 2
4.2	水理地質調査.....	4 - 6
4.2.1	既存給水施設のインベントリー調査.....	4 - 6
4.2.2	リモートセンシング調査.....	4 - 11
4.2.3	物理探査.....	4 - 13
4.2.4	試掘調査.....	4 - 19
4.3	地質単元毎の水理地質状況.....	4 - 22
4.3.1	花崗岩地域 (gs, gs-a, gs-b).....	4 - 22
4.3.2	変成岩地域ーウサガランシステム (Xs, Xs-a, Xs-l).....	4 - 23
4.3.3	ドドマン系 (D).....	4 - 25
4.3.4	ニャンジアン系 (Z).....	4 - 25
4.3.5	火山地域 (Nv and Nvd).....	4 - 26
4.3.6	第三紀と現在の堆積層 (N, N1, and Nf).....	4 - 27
4.3.7	大地溝帯と関連した断層系.....	4 - 27
4.4	地下水流解析.....	4 - 28
4.4.1	静水位の標高.....	4 - 28
4.4.2	水質ヘキサダイアグラム解析.....	4 - 28
4.4.3	地下水の流れ.....	4 - 30
4.5	井戸の生産能力解析と水理地質図.....	4 - 32
4.5.1	井戸の生産能力.....	4 - 32
4.5.2	水理地質図.....	4 - 36
第5章	地下水ポテンシャル評価	5 - 1
5.1	はじめに.....	5 - 1
5.2	概略水収支と地下水涵養量.....	5 - 1
5.2.1	サブ流域単位の概略月別水収支.....	5 - 1
5.2.2	雨期における各サブ流域内部の可能浸透量評価.....	5 - 5
5.2.3	サブ流域 G における可能浸透量(地下水涵養)詳細解析.....	5 - 9

5.3	地下水ポテンシャル評価	5 - 15
5.3.1	地下水ポテンシャル評価指標	5 - 15
5.3.2	地下水ポテンシャル評価	5 - 18
5.3.3	地下水開発ポテンシャル評価の結論	5 - 18
第6章	水セクターの組織制度	6 - 1
6.1	水資源開発・管理の組織制度	6 - 1
6.1.1	水セクターにおける国家開発計画	6 - 1
6.1.2	水セクターに関わる組織体制	6 - 2
6.2	内部収束流域管理事務所 (IDBWO)	6 - 4
6.3	キャパシティ・デベロプメント (CD)	6 - 5
6.3.1	内部収束流域管理事務所の現状	6 - 5
6.3.2	CD の目的	6 - 9
6.3.3	CD の内容	6 - 10
6.3.4	組織強化プログラム	6 - 10
6.3.5	キャパシティデベロプメントの評価	6 - 11
6.4	組織強化プログラム後の内部収束流域管理事務所に対する提案	6 - 12
第7章	結論と提言	7 - 1
7.1	結 論	7 - 1
7.2	提 言	7 - 2
7.2.1	水資源開発と水質	7 - 2
7.2.2	モニタリングシステムと本調査の更新	7 - 2
7.2.3	組織強化	7 - 3

表目次

表 1-1	流域の面積	1 - 1
表 1-2	調査メンバーリスト	1 - 5
表 1-3	ステアリングコミッティーメンバーリスト	1 - 5
表 2-1	内部収束流域とサブ流域の面積	2 - 2
表 2-2	調査地域における層序表	2 - 17
表 2-3	内部収束流域の行政機構	2 - 21
表 2-4	内部収束流域の給水率	2 - 23
表 2-5	社会経済調査の内容	2 - 24
表 2-6	家庭から水源までの距離	2 - 27
表 2-7	水汲みにかかる時間	2 - 28
表 3-1	水質調査の概要	3 - 1
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	3 - 3
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	3 - 5
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	3 - 6
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.....	3 - 10
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.....	3 - 13
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	3 - 16
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	3 - 18
表 3-9	フッ素症の分類	3 - 25
表 3-10	アリューシャ州 Maji ya Chai 村における学童のフッ素症出現率	3 - 26
表 3-11	フッ素処理方法の比較	3 - 27
表 3-12	斑状歯の診断のための Thylstrup and Fejerskov Index (TFI)	3 - 28
表 3-13	州別 TFI スコア平均値	3 - 29
表 3-14	マガディのフッ素含有量	3 - 30
表 3-15	斑状歯に関する質問票調査結果の概要	3 - 31
表 4-1	ボアホールデータベースの項目	4 - 2
表 4-2	改善された水源にアクセス出来る世帯の比率	4 - 3
表 4-3	給水施設の集計結果	4 - 5
表 4-4	県毎のインベントリー調査村落数と地点数	4 - 8
表 4-5	それぞれの地域における掘削深度	4 - 9

表 4-6	内部収束流域内の静水位分布	4 - 10
表 4-7	物理探査の調査数量	4 - 13
表 4-8	地質と垂直電気探査による比抵抗値との比較	4 - 14
表 4-9	比抵抗範囲と地質	4 - 16
表 4-10	基盤岩深度の分布の特徴	4 - 17
表 4-11	試掘調査の結果	4 - 21
表 4-12	試掘井戸の周辺の地下水の流速	4 - 30
表 4-13	VSW インデックスマップの解釈	4 - 33
表 4-14	内部収束流域の地下水生産能力状況	4 - 35
表 4-15	地下水ポテンシャル評価の基準	4 - 36
表 4-16	県毎の地下水開発ポテンシャルの概要	4 - 37
表 5-1	雨期（2月）におけるサブ流域別簡易水収支結果のまとめ	5 - 7
表 5-2	解析に使用した水文観測所および観測期間	5 - 9
表 5-3	サブ流域Gの詳細水収支解析結果（2月）	5 - 12
表 5-4	サブ流域Gの詳細水収支解析結果（9月）	5 - 12
表 5-5	サブ流域G内の水文観測所別流出係数（2月）	5 - 14
表 5-6	井戸算出率による評価	5 - 15
表 5-7	動物および農産物へのTDSの影響	5 - 16
表 5-8	インデックス別評価配点表	5 - 17
表 6-1	内部収束流域管理事務所の職員配置	6 - 6
表 6-2	内部収束流域管理事務所の機材リスト	6 - 7
表 6-3	組織強化チームによる内部収束流域管理事務所の業務内容	6 - 8
表 6-4	技術力強化プログラム	6 - 10
表 6-5	組織強化プログラム（OSP）	6 - 11

目次

図 1-1	タンザニア内の 9 流域区分	1 - 1
図 1-2	内部収束流域の位置	1 - 2
図 1-3	内部収束流域の関連する州および県	1 - 3
図 1-4	調査全体工程	1 - 4
図 2-1	調査前の内部収束流域の範囲	2 - 1
図 2-2	内部収束流域の流域界とそのサブ流域分布	2 - 2
図 2-3	タンザニアおよび内部収束流域の気候区分	2 - 3
図 2-4	内部収束流域周辺の最高気温および最低気温	2 - 4
図 2-5	内部収束流域内の年間降雨量分布と気象観測所の位置	2 - 5
図 2-6	内部収束流域周辺の月降雨量変化	2 - 6
図 2-7	内部収束流域周辺の日照時間の月変化	2 - 7
図 2-8	内部収束流域周辺の蒸発量の月変化	2 - 7
図 2-9	内部収束流域周辺の相対湿度の月変化	2 - 8
図 2-10	内部収束流域周辺の風配図	2 - 9
図 2-11	内部収束流域内のサブ流域と河川網、水文観測所	2 - 10
図 2-12	河川流況曲線	2 - 11
図 2-13	1974 年における月平均河川流量の変化	2 - 11
図 2-14	キタンギリ湖の湖水位変化 (2K13)	2 - 12
図 2-15	水利権データに基づいた水利用状況	2 - 13
図 2-16	内部収束流域鳥瞰図	2 - 14
図 2-17	土地被覆図	2 - 15
図 2-18	東アフリカ地溝帯の構造図 (Wilson、1989)	2 - 16
図 2-19	内部収束流域の地質図	2 - 18
図 2-20	断層とリニアメントの分布図	2 - 20
図 2-21	社会経済調査の調査村落位置図	2 - 25
図 2-22	世帯の主な経済活動	2 - 25
図 2-23	平均年間支出	2 - 25
図 2-24	村人の経済活動収益性評価	2 - 26
図 2-25	村の主な水源の季節による違い	2 - 26
図 2-26	1 日の水使用量の割合	2 - 26
図 3-1	簡易水質調査の実施状況	3 - 2
図 3-2	水質調査地点	3 - 4

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	3 - 7
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	3 - 7
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	3 - 9
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	3 - 10
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	3 - 11
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 - 12
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	3 - 14
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	3 - 14
図 3-11	内部収束流域における深層地下水のトリリニアードイアグラム	3 - 15
図 3-12(1)	内部収束流域における乾季の水源の硝酸、アンモニアの分布	3 - 18
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 - 19
図 3-13	飲料水の基準値に対する適合状況	3 - 19
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	3 - 21
図 3-15	全流域における既存水源のヘキサダイアグラム	3 - 22
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 - 23
図 3-17	水因性疾患の割合	3 - 24
図 3-18	水因性疾患の原因	3 - 24
図 3-19	飲料水の前処理状況	3 - 24
図 3-20	フッ素症の認識	3 - 24
図 3-21	運動機能障害性フッ素症の症状	3 - 26
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	3 - 26
図 3-23	内部収束流域における水系感染症の現況	3 - 27
図 3-24	TFI ≥ 4 の被験者の割合	3 - 28
図 3-25	県別 TFI スコア平均値	3 - 29
図 3-26	水中のフッ素濃度と TFI スコアの関係	3 - 30
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	3 - 31
図 3-28	被験者が日常使用する水源	3 - 32
図 4-1	内部収束流域の県毎の地方給水率	4 - 4
図 4-2	州毎の水源タイプの比率	4 - 5
図 4-3	管井戸給水比率と表流水依存度の関係	4 - 6
図 4-4	給水施設インベントリ調査の調査地点	4 - 7
図 4-5	インベントリ調査結果に基づく掘削深度分布	4 - 9
図 4-6	内部収束流域内の静水位分布	4 - 10
図 4-7	SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) 画像	4 - 11
図 4-8	VSW 画像 (V; 植生, S; 土壌, W; 水または水分)	4 - 12
図 4-9	土地被覆図	4 - 12
図 4-10	垂直電気探査の探査位置図	4 - 14

図 4-11	典型的な比抵抗パターン 1 (高-低-高)	4 - 15
図 4-12	典型的な比抵抗パターン 2 (高-低)	4 - 15
図 4-13	典型的な比抵抗パターン 3 (低-高)	4 - 15
図 4-14	物理探査による基盤岩比抵抗分布図	4 - 16
図 4-15	物理探査による基盤岩出現深度分布図	4 - 17
図 4-16	試掘地点位置図	4 - 18
図 4-17	標準井戸構造の概念図	4 - 19
図 4-18	静水位標高分布図	4 - 28
図 4-19	内部収束流域における水質ヘキサダイアグラム分布	4 - 29
図 4-20	地下水流動方向図	4 - 31
図 4-21	既存井戸の揚水量分布図	4 - 32
図 4-22	水理地質図のための地下水生産能力区分図	4 - 34
図 4-23	内部収束流域の水理地質図	4 - 38
図 5-1	内部収束流域のサブ流域	5 - 1
図 5-2	サブ流域別月降雨量	5 - 3
図 5-3	サブ流域別月可能蒸発散量	5 - 4
図 5-4	サブ流域別年間可能浸透量 (高さ) (単位: mm/年)	5 - 5
図 5-5	サブ流域別月可能浸透量(高さ) (単位: mm/月)	5 - 5
図 5-6	サブ流域別年間可能浸透量 (体積) (単位: mcm/年)	5 - 5
図 5-7	サブ流域別月可能浸透量 (体積) (単位: mcm/月)	5 - 5
図 5-8	降雨量分布図 (2月)	5 - 7
図 5-9	蒸発散量分布図 (2月)	5 - 8
図 5-10	可能浸透量図 (P-ET) (2月)	5 - 8
図 5-11	サブ流域Gの降雨量分布図	5 - 10
図 5-12	サブ流域Gの蒸発散量分布図	5 - 11
図 5-14	サブ流域Gの可能浸透量分布図 (I=P-ET)	5 - 13
図 5-13	水文観測所 (2R1A, 2R23, 2R25, 2R26 and 2R29) 流域の浸透量分布	5 - 14
図 5-15	EC と TDS の相関	5 - 16
図 5-16	ケース 1: 地下水ポテンシャル評価 (自然条件のみの基礎的 5 指標)	5 - 20
図 5-17	ケース 2: 基礎的 5 指標に可能浸透量を加えた場合	5 - 20
図 5-18	ケース 3: ケース 1 においてフッ素濃度配点を 2 倍にした場合)	5 - 21
図 5-19	ケース 4: ケース 2 に人口密度を加えた場合	5 - 21
図 5-20	ケース 5: ケース 4 に給水率を加えた場合	5 - 22
図 6-1	水省の新体制の組織図	6 - 3
図 6-2	タンザニアにおける現在の水資源管理組織体制	6 - 4
図 6-3	組織強化チームによる内部収束流域管理事務所の組織図	6 - 8

図 6-4	組織強化チームによる内部収束流域管理事務所の組織体制	6 - 12
図 6-5	銀行振り込を利用した水料金徴収システム案	6 - 13
図 6-6	関係機関からのデータ収集フロー案	6 - 14
図 6-7	モニタリング井戸データ収集フロー案	6 - 14

略語一覧

ADM	Administrative	行政
As	Arsenic (mg/L)	ヒ素 (mg/L)
B.H.	Borehole	管井戸
BWB	Basin Water Board	流域管理委員会
BWO	Basin Water Office	流域管理事務所
C/P	Counterpart	カウンターパート
CDP	Capacity Development	キャパシティデベロップメントプログラム
CFI	Community Fluorosis Index	地域フッ素症指標
DB	Database	データベース
DBMS	Database Management System	データベース管理システム
DC	District Council	県議会
DDCA	Drilling and Dam Construction Agency	井戸・ダム建設公社
DEM	Digital Elevation Model	デジタル標高モデル
DWE	District Water Engineer	県水利官
DWL	Dynamic Water Level (m)	動水位 (m)
EA	Enumeration Area	センサスの計数単位
EARS	East Africa Rift System	東アフリカ地溝帯
EC	Electric Conductivity (mS/m)	電気伝導度 (mS/m)
ETM	Enhanced Thematic Mapper	エンハンスト・セマティック・マップパー
F	Fluoride (mg/L)	フッ化物 (mg/L)
Fe	Iron (mg/L)	鉄 (mg/L)
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GPS	Global Positioning System	汎地球測位システム
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit	ドイツ技術協力公社
IDB	Internal Drainage Basin	内部収束流域
IDBWO	Internal Drainage Basin Water Office	内部収束流域管理事務所
IWRM	Integrated Water Resources Management	統合水資源管理
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
LANDSAT	Land sensing Satellite	ランドサット
MC	Municipality Council	市議会
Mn	Manganese (mg/L)	マンガン (mg/L)
MoF	Ministry of Finance	財務省
MoLD	Ministry of Livestock Development	畜産開発省

MoW	Ministry of Water	水省
MoWLD	Ministry of Water and Livestock Development	水畜産開発省
MS	Microsoft	マイクロソフト
MWE	Municipal Water Engineer	市水利官
NBS	National Bureau of Statistics	国家統計局
NGO	Non Government Organization	非政府組織
NH ₄	Ammonia Ion (mg/L)	アンモニア (mg/L)
NO ₃	Nitrate Ion (mg/L)	硝酸塩 (mg/L)
NSGRP	National Strategy for Growth and Reduction of Poverty	成長と貧困削減に係る国家戦略
O&M	Operation & Maintenance	維持・管理
OJT	On the Job Training	業務を通じた職業教育訓練
ORP	Oxidation Reduction Potential (mV)	酸化還元電位 (mV)
OST	Organization Strengthening Team	組織強化チーム
PMO-RALG	Prime Minister's Office - Regional Administration and Local Government	首相府 地域行政・地方政府庁
PRSP	Poverty Reduction Strategy Paper	貧困削減戦略書
RAS	Regional Administrative Secretariat	州行政官事務所
RCU	Regional Consultancy Unit	州コンサルタンシーユニット
RWE	Regional Water Engineer	州水利官
RWSSP	Rural Water Supply and Sanitation Programme	地方給水・衛生プログラム
S	Sulphate Ion (mg/L)	硫黄 (mg/L)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	土壌調整植生指標
SEMA	Sustainable Environment Management Action	持続可能な環境管理活動(NGO)
SMD	Surveys and Mapping Division	測量・地図局
SRTM	Shuttle Rader Topography Mission	スペースシャトル立体地形データ
SWL	Static Water Level (m)	静水位 (m)
TANESCO	Tanzania Electric Supply Company	タンザニア電力公社
TAZARA	Tanzania and Zambia Railways	タンザニア-ザンビア鉄道公社
TDS	Total Dissolved Solid	全蒸発残留物
TFI	Thylstrup Fejerskov Index	ティルストラップ・フェージェルスコフ指標
TOR	Terms of Reference	仕様書
TPDC	Tanzanian Petroleum Development Corporation	タンザニア石油開発公社
TPTC	Tanzanian Posts and Telecommunication	タンザニア郵便局

TRC	Tanzania Railways Corporation	タンザニア鉄道公社
TTCL	Tanzanian Telecommunication Company Ltd.	タンザニア電信電話公社
TWA	Technical Water Advisor	水アドバイザー
UNCSD	United Nations Commission on Sustainable Development	国連持続可能な開発委員会
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development	国連貿易開発会議
UTM	Universal Transverse Mercator	ユニバーサル横メルカトール
VEO	Village Executive Officer	村行政官
VES	Vertical Electrical Sounding	垂直電気探査
VSW	Vegetation-Soil-Water	植生-土壌-水
WFP	World Food Program	国連世界食糧計画
WGS	World Geodetic System	世界測地系
WHO	World Health Organization	世界保健機関
WRD	Water Resources Division	水資源局
WUA	Water User Association	水利用者組合
WUC	Water User Committee	水利用者委員会
WUG	Water User Group	水利用者グループ

第1章
序章

第1章 序章

1.1 調査の背景

内部収束流域（以下 IDB と称す）は、タンザニアの北東部に位置する。（図 1-1, 2 参照） IDB は、表 1-1 に示すように公称面積 153,800 km² の面積を有するタンザニアで第 2 番目に大きな流域であり、アルーシャ、シニャンガ、マニャラ、ドドマ、シンギダそしてタボラの 6 州に広がっている。IDB 内の人口は約 450 万人である。IDB のほぼ全域が年間降水量 600mm～900mm の範囲にあり、その可能蒸発散量は 2,000mm/年を超えている。トウモロコシの生育の限界年降水量が 600mm/年と言われているので、IDB の水資源の状況はかなり厳しいと言える。さらに、IDB ではその自然状況、特に表流水、地下水中のフッ素等の有害物質や無機塩類の集積を招く内部収束水系がもたらす水質問題がある。

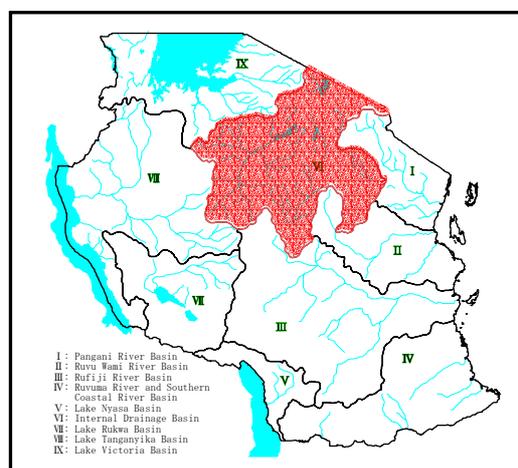


図 1-1 タンザニア内の 9 流域区分

表 1-1 流域の面積

No.	Basin	Area (km ²)
I	Pangani	56,300
II	Wami/Ruvu	72,930
III	Rufiji	177,420
IV	Ruvuma/Southern Coast	103,720
V	Lake Nyasa	75,230
VI	Internal Drainage	153,800
VII	Lake Rukwa	81,180
VIII	Lake Tanganyika	137,900
IX	Lake Victoria	79,570

: Study Area

このような状況で水資源開発、なかでも安全で安定した水供給を行うための地下水開発が緊急の課題となっている。

しかしながら、既存給水施設、水文、地形、水理地質、水質、社会経済等のデータが総合的に管理されていないため、給水計画やその実施に支障を来している。水資源を包括的な手法で管理するため、内部収束流域管理事務所（以下 IDBWO と称す）が 2004 年 10 月 29 日に設立された。しかしながら、その設立が新しい概念である統合水資源管理を盛り込んだ新たな国家水政策 2002 に基づいて新設されたこともあり、まだ十分機能していない。

1.2 調査目的

上記の状況から、本調査は IDB における飲料水供給計画のために、地下水開発ポテンシャルを評価し、水質汚染地域を明らかにするために企画、実施された。調査の主な目的は以下の通りである。

- IDB のための水資源開発・管理、給水計画に必要な情報を盛り込んだ水理地質図を作成す

ること。

- 水省ならびに本調査に関係する諸機関のカウンターパートの能力開発を行うこと。To

1.3 調査対象地域

調査対象地域は、図 1-2 に示すようにタンザニアの北東部に位置し、国土の 16.4%に当たる 143,099km²の面積を占める。IDB に関する詳細な行政界は、図 1-3 に示すとおりである。



図 1-2 内部収束流域の位置

1.4 調査の実施

水省の IDBWO がタンザニア政府からカウンターパート機関として任命され、一方、国際協力機構が日本政府から公式な技術協力実施責任機関として担当することとなった。本調査は、OYO インターナショナル（株）と国際航業（株）からなる調査団が国際協力機構から公式な委託を受けてタンザニア側のカウンターパートと協働で実施された。

1.5 調査工程

本調査は、2005年9月から2007年12月下旬までの約28ヶ月、以下に示す6ステージに渡って実施された。

- (1) 第1回国内作業(2005年9月)
- (2) 第1回現地調査(2005年10月～2005年12月)
- (3) 第2回現地調査(2006年1月～2006年3月)
- (4) 第3回現地調査(2006年6月～2007年3月)
- (5) 第4回現地調査(2007年5月～2007年11月)
- (6) 第2回国内作業(2007年11月～2007年12月)

本調査の全体工程を図 1-4 に示す。

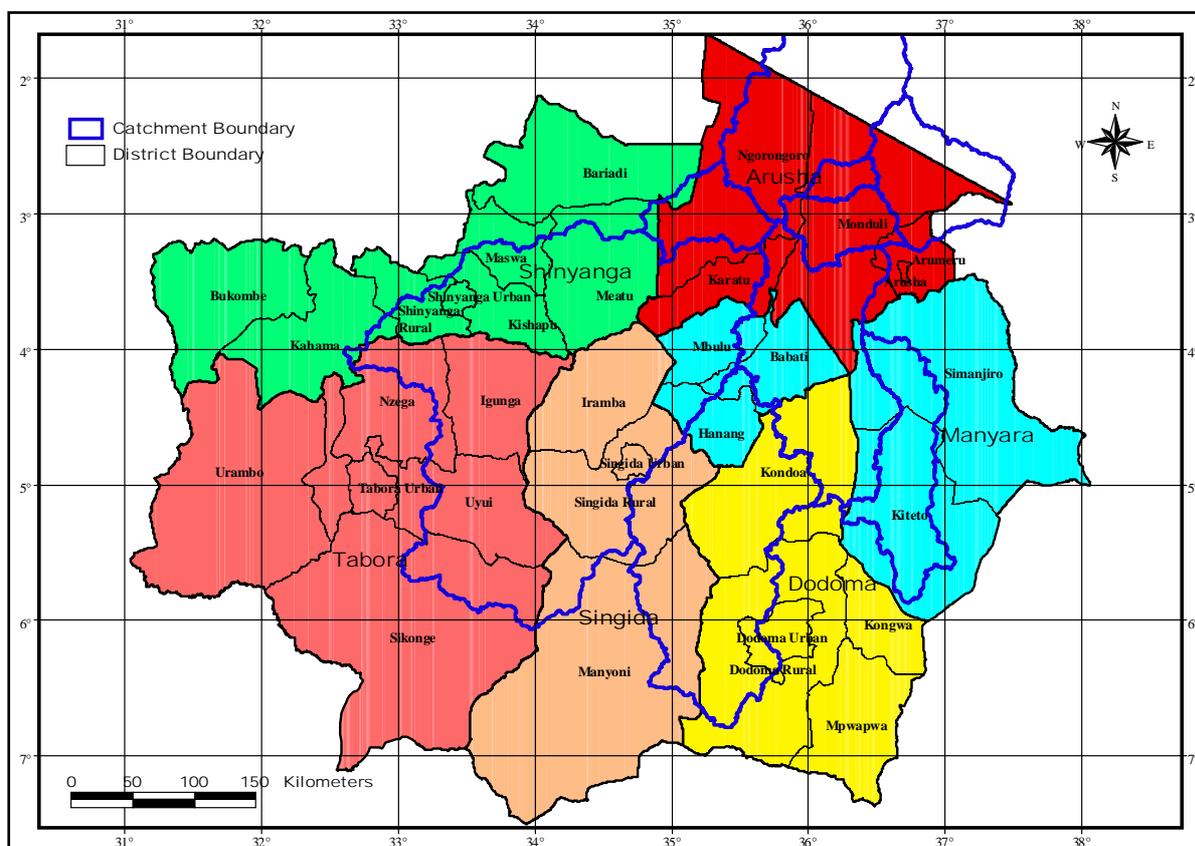


図 1-3 内部収束流域の関連する州および県

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1章 序章

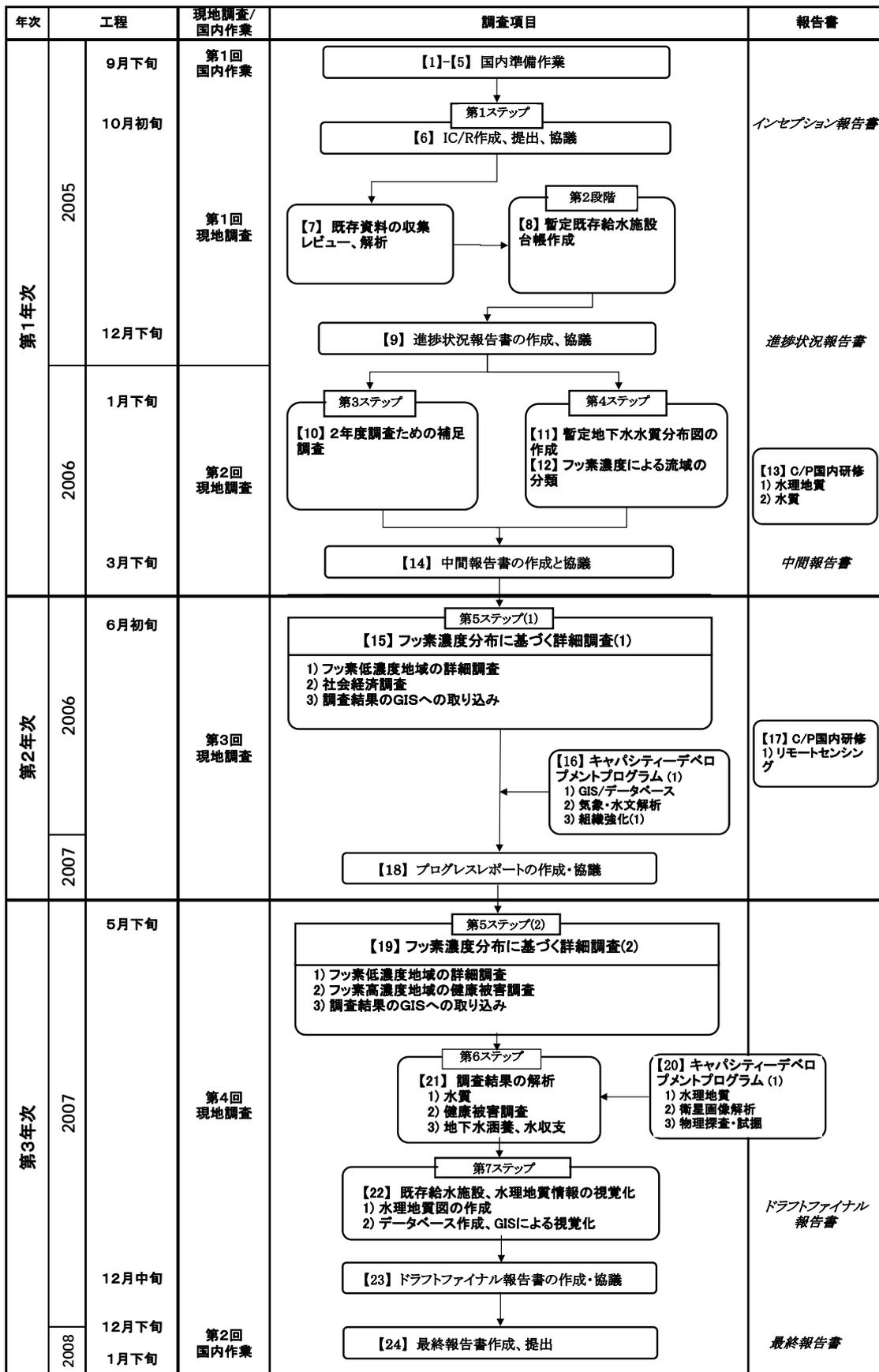


図 1-4 調査全体工程

1.6 調査関係者等

本調査関係者並びにステアリングコミッティーメンバーは表 1-2、1-3.に示す通りである。

表 1-2 調査メンバーリスト

Name	Assignment
<JICA>	
Mr. Hidetake Aoki	Staff / JICA Headquarters
Mr. Daigo Koga	Assistance Resident Representative
<JICA Study Team>	
Mr. Norifumi Yamamoto	Team Leader
Mr. Shinichi Iseki	Deputy Team Leader / Hydrogeologist (1)
Mr. Shigeaki Matsuo	Hydrogeologist (2) / Remote Sensing Expert
Mr. Masamichi Haraguchi	GIS / Database Expert
Dr. Takayoshi Kurata	Water Quality Specialist
Mr. Ichiro Tanaka	Hydrologist
Mr. Jun Matsuo	Geophysicist / Test Drilling Supervisor
Ms. Rumi Sawada	Socio-economist
Dr. Edda Vuhahula	Health Survey Supervisor
Dr. Lillian Minja	Health Survey Supervisor
Mr. Shinya Kawada	Environment Consideration Expert
Mr. Takashi Hara	Coordinator
<C/P Staff>	
Mr. J.S.Nasari	Team Leader
Mr. A.H. Bwanguzo	Deputy Team Leader
Mr. N. M.Mgozi	Hydrogeologist / Remote Sensing Expert
Mr. K. Mpanda	G.I.S. Database Expert
Mr. F. Saroni	Water Quality Specialist
Mr. Y. Hema	Hydrologist
Mr. G. Lyatuu	Geophysicist / Test Drilling Supervisor
Mr. Sebastian Mundia	Socio-economist
Mr. Joseph Seni	Health Survey Supervisor
Mr. Richard Masao	Environment Consideration Expert

表 1-3 ステアリングコミッティーメンバーリスト

Name	Position
<Ministry of Water (MoW)>	
Mr. Washington Mutayoba	Director, Water Resources Division (WRD)
Dr. Hassani J. Mjengera	Director, Water Laboratories
Mr. Lister R.E. Kongola	Assistant Director, WRD
Ms. Elder Mcharo	Principal Hydrogeologist, WRD
<Internal Drainage Basin Water Office (IDBWO)>	
Mr. Joseph S. Nasari	Basin Water Officer (Outgoing)
Mr. Mtoi Kanyawanah	Basin Water Officer (Incoming)
Mr. Ahmed M. H. Bwanguzo	Principal Hydrogeologist
Mr. Festo Saroni	Senior Technician - Water Quality
Ms. Paulina Duki	Personal Secretary
<Arusha Region>	
Mr. Paul M. Nginita	Representative of Technical Advisor - Water (TAW, Regional Secretariat (RS))
<Manyara Region>	
Mr. Robert Mgombela	TAW (RS)
<Shinyanga Region>	
Mr. M. N.Mgozi	Representative of TAW(RS)
<Singida Region>	
Mr. Deocres K. Kamara	TAW (RS)
Mr. L. S. K. Rweyemamu	DWE (Iramba District)
Mr. Frobet Andrea	DWE (Manyoni District)
<Dodoma Region>	
Mr. Robert Mganga	Representative of Kondoa District Water Engineer

1.7 報告書の構成

本調査を通じて以下の報告書がタンザニア側に提出された。

- インセプション レポート: 25 部
- 進捗報告書 (I): 10 部
- インテリムレポート: 25 部
- プログレスレポート: 10 部
- ドラフトファイナルレポート: メインレポート 25 部、GIS 図面集 4 部
- ファイナルレポート: メインレポート 50 部、サポーティングレポート 10 部、サマリー 50 部、GIS 図面集 10 部、データブック 10 部

ファイナルレポートのメインレポートは調査全体を要約した結果を示しており、詳細な調査の結果はサポーティングレポート並びにデータ集に記載されている。GIS 図面集は、水理地質図、地下水ポテンシャル評価図を含む本調査を通じて作成されてきた主要図面が纏められている。