

ルワンダ共和国
インフラストラクチャー省
(M I N I N F R A)
東 部 県

ルワンダ国 地方給水改善計画調査

ファイナル・レポート サポーティング

平成 22 年 11 月
(2010 年)

独立行政法人 国際協力機構(JICA)

日本テクノ株式会社
日本工営株式会社

| |
|--------|
| 環境 |
| JR |
| 11-021 |

目次

- S1. 調査実施体制及び作業計画
- S2. 「ル」国水・衛生分野の政策・戦略
- S3. 自然状況
- S4. 社会経済状況
- S5. 制度・組織
- S6. 環境社会配慮の結果
- S7. 衛生概念向上の活動計画に関する補足資料
- S8. 電化状況
- S9. マスター・プランの優先順位
- S10. 施設工事単価内訳明細書
- S11. 優先プロジェクト拡張計画
- S12. 計画対象外水利用について

S1. 調査実施体制及び作業計画

S1.1 全体体制

本調査の実施に当り、MININFRA 及び東部県の主導の下、MINIRENA 及び対象 7 郡を含むステアリング・コミッティが構成された。各報告書の内容を発表し、ステアリング・コミッティより、合意を得た。また、MINALOC、MINISANTE、MINEDUC 及び他ドナーは、意見交換や情報共有は行うが、ステアリング・コミッティのメンバーではない。

S1.2 調査チーム構成

(1) 日本側調査団構成

本調査の団員構成は以下の通りである。

表 S1-1 要員計画

| 分担業務 | 団員名 | 所属 |
|-------------------------|--------|----------|
| 総括／給水計画 | 藤井 将士 | 日本テクノ(株) |
| 副総括／水理地質／水資源開発計画 | 平 直貴 | 日本テクノ(株) |
| 物理探査（第 1 年次） | 鶴島 哲男 | 日本テクノ(株) |
| 水文・気象解析／水質（第 2 年次：物理探査） | 山下 千文 | 日本テクノ(株) |
| 社会経済調査 | 北内 陽子 | 日本工営(株) |
| 施設設計／積算 | 吉川 淳 | 日本テクノ(株) |
| 運営維持管理計画 | 細田 年晃 | 日本工営(株) |
| 衛生啓発 | 吉川 千恵子 | 日本テクノ(株) |
| 環境社会配慮 | 出井 里佳 | 日本工営(株) |

(2) ルワンダ側カウンターパート(C/P)構成

本調査に係る C/P 機関及び C/P チームの配置は以下の通りである。配置された C/P は、資料収集・解析、サイト調査の同行、セミナーの参加、計画策定の補助等を調査団員と共に行うことにより、技術移転が行われた。

表 S1-2 C/P 一覧

| 機関 | カウンターパート | 役職 |
|----------|--------------------------------|---|
| MININFRA | Mr. NYIRIGIRA Benoit | Water and Sanitation Engineer (PNEAR) |
| MINIRENA | Mr. MUKIZA Odillo | Water and Sanitation Engineer |
| 東部県 | Mr. MAKOMBE Jean-Marie Vianney | Coordinator of District Development Programmes |
| ニャガタレ郡 | Mr. MUTARAMBIRWA Philip | Coordinator of Economic Development (Former Director of Infrastructure, Urban Planning and Environment Unit) |
| | Mr. RUTAGWENDA Sam | In Charge of Infrastructure |
| | Ms. NSHIMUABAREZI Alice | In Charge of Environment |
| ガツィボ郡 | Mr. MWISENEZA Jonas | In Charge of Infrastructure (Former Acting Director of Infrastructure and Environmental Technology Unit) |
| | Mr. KIMENYI Dickson | (Former Director of Infrastructure and Environmental Technology Unit) |
| | Mr. KINYANA Herbert | (Former In Charge of Infrastructure) |
| カヨンザ郡 | Mr. NDAYISHIMIYE Nicoles | (Former Acting Director of Infrastructure Unit) |
| | Mr. RUTAREMARA Claude | In Charge of Environment |
| ルワマガナ郡 | Mr. NGABONEZA Deodatus | In Charge of Infrastructure |
| | Mr. KIMPAYE Innocent | (Former Director of Infrastructure Unit) |
| | Mr. RWAKAYIGAMBA Emmanuel | In Charge of Environment |
| ンゴマ郡 | Mr. NTIRENGANYA Boniface | Coordinator of Economic Development (Former Director of Planning, Economic Development, Promotion of Employment, Infrastructures, Protection of Environment and Forestry Unit) |
| | Ir. TUYISABE Augustin | In Charge of Infrastructure |
| | Mr. NTABANA Narcisse | In Charge of Environment |
| キレヘ郡 | Mr. SEBUNDANDI Alphonse | (Former Director of Land, Urbanization, Habitat and Infrastructure Unit) |
| | Mr. GAKUNZI Emmanuel | In Charge of Infrastructure |
| | Mr. NSENGIYUMVA Pacifique | In Charge of Environment |
| ブゲセラ郡 | Mr. GASASIRA J. Claude | Coordinator of Economic Development |
| | Mr. NZEYIMANA Phocus | In Charge of Infrastructure |
| | Mr. KASIRE Cassien | (Former Director of Land, Urbanization, Habitat and Infrastructure Unit) |
| | Mr. NSENGIMANA Theophile | (Former In Charge of Infrastructure) |
| | Ms. UWACU Sylvie | In Charge of Environment |

S2. 「ル」国水・衛生分野の政策・戦略

S2.1 上位計画

ルワンダ国の国家上位計画は Vision 2020 及びミレニアム開発目標を初め、PRSP（貧困削減戦略）を継承した EDPRS（経済開発・貧困削減戦略）がある。また、水・衛生セクターの上位計画として、給水・衛生セクター政策・戦略が策定されている。それぞれの内容を以下に示す。

表 S2-1 ルワンダ国水・衛生関連上位計画

| 上位計画 | 水・衛生セクター計画目標 | 目標達成への方針 |
|--|---|---|
| Vision 2020 | ルワンダは、2020 年までに、①全人口が飲料水へアクセスできる、②家庭用・農業用の雨水利用技術が確立される、③（特に高標高森林での）天然貯水槽が注意を払い開発・管理される、④水資源が合理的・総合的に国家土地利用マスタープランと整合して管理される、⑤住民は均等に・持続的に水が管理できる、⑥水製造・水保護・配水・衛生関連の施設は全民で維持管理する、を目標としている。 | 飲料水へのアクセス率を毎年 2.5%増加する必要がある。 |
| ミレニアム開発目標 (MDG) | 水・衛生セクターの目標は、①2015 年までに、持続的な飲料水へアクセスできない人口の減少、②水資源管理体制の構築、③食料安定のために灌漑システムの水による生産便益の増加・環境への圧力抑制・他生産セクターへの水利用の可能性の推進、④適正水質による人生の保護、⑤水セクターの全国資源投資ニーズの融資、⑥総合水資源管理政策実施のために制度・技術強化、⑦表流水・地下水・水生生態系・海岸地域の保護である。 | ルワンダは、2015 年までに、飲料水・衛生へのアクセス率を半減することを約束している。 |
| 経済開発・貧困削減戦略(EDPRS) 2008～2012 | 戦略実施期間中の、水・衛生セクターの目標は、①安全な水へのアクセス率が 64%から 86%へ、衛生サービス率が 38%から 65%へ増加する、②また、改良水源から 500m 以内に住む地方人口率が 64%から 86%へ、改良水源から 200m 以内に住む都市人口率が 69%から 100%へ増加する、③ハンドポンプ付の深井戸施設建設・改修の数が 120 から 350 へ増加する、④衛生につき、学校で保健基準を満たすトイレの保有率が 10%から 80%へ、地方家庭で同様の保有率が 38%から 65%へ増加することである。 | セクターの公共投資は 5.4%から 7%へ増加する必要がある。 |
| 国家給水・衛生サービス政策・戦略 (National Policy and Strategy for Water Supply and Sanitation Services, Final, Feb. 2010) | 一般目標は、貧困削減、公衆衛生、経済発展及び環境保護に貢献するため、全住民に持続的・入手可能な、給水・衛生・廃棄物管理サービスの確保である。 特定目標は、①地方部の給水率向上、②給水施設の持続的運営体制の構築、③健全な都市給水サービス提供、④衛生アクセス率向上、⑤公共衛生設備の設置、⑥都市部への下水道整備、⑦防災対策の強化、⑧統合的廃棄物管理、⑨セクター組織・能力強化である。 | 地方給水・衛生事業実施のセクター横断型アプローチ、保健衛生の強調、地方部での集住化促進、モニタリング・評価体制の強化及び能力強化が必要である。 |

出典：Rwanda Water and Sanitation Expenditure Review Report 2007 (2008 年 5 月)
National Policy and Strategy for Water Supply and Sanitation Services, Final (2010 年 2 月)

「ル」国地方給水事業の上位政策として「国家給水衛生サービス政策・戦略」(National Policy and Strategy for Water Supply and Sanitation Services) が 2010 年 3 月に制定され、国家開発計画の上位政策である Vision 2020 および EDPRS の目標達成に寄与するための行動計画書と位置づけられている事は前章で述べた。当該政策は、「水・衛生セクター政策 (Sectorial Policy on Water and Sanitation, October 2004)」を引き継いで給水衛生事業にかかる国家政策の中心を占めるが、2009 年初頭の省庁改編により水資源の分野が天然資源省 (MINIRENA) の所管となった点、また、環境・公衆衛生の分野を、住民への給水・衛生提供事業に主眼を置いて見直した点が異なる。本政策の要項は以下の通りである。

- 給水網の面的拡充の優先
- 給水衛生サービス提供責任の地方行政政府への移管
- 計画立案・意思決定・維持管理への住民参加の推進
- 給水衛生施設運営維持管理費用の利用者負担原則、適正技術利用による運営維持管理持続性の確保
- 給水衛生事業の投資・建設・サービス提供に係る民間部門の参加促進
- 給水事業運営効率化及び説明責任強化・会計透明化の推進
- 給水事業における保健衛生の考慮
- 女性・子供の関与の推進
- 集住化政策の考慮
- 環境影響・水源保護への留意
- セクター横断型アプローチ (SWAp) 及び NGO、民間部門を含み他の国家政策と協調した包括的プログラムアプローチの推進
- 成果主義によるモニタリング・評価の実施

また、指針として以下の 9 つの目標が掲げられている。

1. 給水施設建設時における計画、設計、財務、品質向上に関する各郡への助言による地方部の給水率向上
2. 効果的且つ確実性・持続性を伴った給水施設運営体制の構築
3. 信頼性が高く、安全で、財務的にも健全な都市給水サービスの提供
4. 衛生へのアクセス率向上：2012 年には 65%、2020 年には 100%とし、衛生に係る行動変容を促進する。
5. 学校、保健所、公共施設への改良型衛生設備の設置
6. 都市部における下水道整備の推進
7. 豪雨による土地、水資源、健康への防災対策の強化
8. 社会的・財務的・技術的に妥当な統合廃棄物処理の運営実施
9. セクターの組織能力強化及び、モニタリング評価システム、知識管理体制の構築

S2.2 地方分権化

(1) 地方分権化政策

ルワンダ国では、1991年から1994年の内戦（ジェノサイド）勃発の原因として、あまりにも過度な中央集権、極端なトップダウン政策と住民不在の政治、草の根レベルでの貧弱な統治、国民間の富の不平等分配等が上げられている。従い、ルワンダ国の再生には、地方分権化と民主主義の強力な推進が重要であるとし、「よき統治」をめざし、地方自治・共同開発・社会事業省（以下 MINALOC）を中心に、こうした課題に対応するべく国内外からの支援により国民参加型「コミュニティ主体の開発＝Community Driven Development」を国家戦略とした地方分権化活動を実施してきている。「地方分権化」セクターの課題と目標として以下が挙げられる。

- 国家の統一と再生、平和と安全の確保
- 地方地域住民に係わりのある意思決定と計画に対して積極的に着手、実施、監理するように地方住民を復活させる
- 説明責任と透明性確保を強化する
- 社会保障と住民への力づけによる地域開発と市民社会の能力向上など、地域の環境に対する三者即ち、公共行政、市民社会、民間セクター活用の強化による責任と役割の明確化
- 地方レベルにおける財政（支援）への予測力を高め、経済、財務計画能力を向上させると同時に運営能力を向上させる
- 計画・実施・モニタリングおよび、（公共）サービス提供の有効性および効率性の増強

特に「ル国地方分権化政策」の中では水・衛生、教育、医療・保健、農業の4課題について、説明責任原則の上に立つ、市民／政策決定者／サービス提供者（民間活用を中心とした）の役割と責任の明確化、それに基づく公共サービス提供者の質の向上を目指すとしている。

横断的な視点に立った地方分権化の推進と、各開発課題との関係は Vision 2020、EDPRS 等国家上位計画の礎に成っている。尚、地方分権化政策により、給水施設の所有権は「郡」へ移行された。

(2) コミュニティ・デベロップメント・ファンド (Community Development Fund= CDF)

地方分権化を財政面で推進する活力となる基金で、将来的に地方政府の中心とっている「郡」によって立案される郡開発計画(District Development Plan)に沿って分配が行われる郡予算の源となる。現行、対象7郡の郡開発計画が2007年に策定され、CDFの予算措置申請も行われている。

(3) 地方分権化の進捗状況

現在、給水・衛生分野に関する地方分権化は、郡レベルの参加型、住民主導型及びプログラム・アプローチ資金によるプロジェクト実施を推奨している。2007年には、中央政府プロジェクト資金の約39%が郡に投入されている。また、大型プロジェクトは全て地方レベルで進められているが、二国間プロジェクトはまだ中央政府の管轄で行っている状況である。また、2010年までに、地方分権化の主体をセクチュールに移行する計画があり、郡の職員をセクチュールに移管する予定である。この移管の試行として、いくつかのセクチュールが選定され、予算投入を行っている。

S2.3 給水施設運営の民間活用

(1) PPP導入の経緯

(2007年8月の世銀WSPによる民営化事業に関する国家レベルでの評価調査結果【Promotion et la Mise en Place de Partenariats Publics Privés (PPP) pour La Gestion des Systèmes AEP Ruraux : Mission d'Evaluation et de Programmation】に基づく。)

ル国では、地方給水施設の住民主体運営・維持管理が成功していない実態に対する反省（水利用組合=Régie設立への傾倒に起因する施設維持管理に対する責任所在の不明確化、サービス品質の低下、故障施設の放置等の失敗）から、国の実状に即した給水サービスの品質向上を目指し、ルワンダ政府は2004年～2007年のセクター戦略の一つとして、官民協調(PPP)による民間セクターの活用を推進することを決定した。これまでのRégieによる住民主体運営・維持管理方式では、水料金徴収による収入は郡へ移管されることを基本としていた。ただし、郡においては獲得できる予算の限界から、水料金による収入の殆どを給水事業以外に投入することを余儀なくされ、給水施設の修理が必要な時には、Régie、郡双方に予算が無い状態が多く見られる。この結果、修理がなされないまま放置される、十分な給水量が確保できない、水質の保全に問題が出るなど、給水事業の品質低下に導かれてきた。こうした現状に対して、民間を活用し給水事業を契約ベースで委託した場合、請負管理者は契約条件に従いながらも、徴収した水料金（サービスへの対価）の管理を自由に行うことが可能となり、施設自体の維持管理のほか、住民への啓蒙活動等のサービス向上のために充当できる。また必要な修理は、当然ながら契約規定上、管理者の責任範囲として保証され、給水サービスに対する信頼性が確保される。

(2) PPP導入の前提条件（上記民営化事業の評価調査結果に基づく）

- 給水施設は正常に稼働している。もし、適切で無い場合、民間管理者へ移管する前に、必要な修理等を（郡もしくは行政側の負担で）行う。
- 給水は原則として従量制にて行われ、必ず水道メータが設置されなければ成らない。（ただし原則外もある）
- 給水施設の所有者（郡）は、PPPの妥当性を把握するため、維持管理費及び水料金を十分に理解しなければならない。
- 施設運営維持管理の委託業者の選定は基本的に入札で行う。

(3) 委託側の責務（契約範囲）（上記民営化事業の評価調査結果より）

- 安全な水の供給（水源の水質管理：定期的な検査と検査結果の郡への提出）
- 安定した水量の供給（給水サービスを停止させないための業務遂行）
- 利用者への啓蒙活動（安全な水の利用量を増やすための広報や、正しい給水施設の利用方法、ほか簡単な衛生概念普及など）

(4) 民営化に伴う料金の設定

古い給水施設の場合、適正な運営・維持管理は新規施設に比較して困難であるが、以下の方法での委託が検討されている。

- 既存の状態で継続使用し、水料金は変更しない。
- 委託業者が改修を行うが、その費用を水料金に反映しない。
- 郡の融資で改修を行うが、その費用を水料金に反映しない

一方、新規の施設の場合は、郡と委託業者で協議の結果で料金を決める。既に改修されている施設の場合、同じ料金を継続する。無料で給水されていた施設の場合（改修の有無にかかわらず）、郡が料金を決定する。ただし、契約の更新時には民間業者との契約交渉により必要に応じて水料金の改訂を行う。

(5) 全国 PPP 導入現況

ル国における地方給水施設運営・維持管理の「民営化＝民間活用による運営、PPP」導入の第1号は、2001年に北部県 Gicumbi 郡の Nyakabingo 給水施設にて始まり、2008年5月末現在で全国175施設におよぶ（後表参照）。この175施設の運営維持管理を、51の民間管理者が請け負っている。民間管理者の種類は下表のとおりであるが、いずれも郡もしくは郡の給水管理委員会と契約を締結し、施設の維持管理業務を請け負う民間セクターとして認識されている

表 S2-2 民間管理者の種類

| 種類 | | 特徴 |
|---------------------------------|------|--|
| Individuel | 個人 | 個人経営で、雇員人数も2-3名と小規模。登記を行っていない場合が多い。 |
| Association (Régie Associative) | 民間団体 | 旧 Régie (水利用組合) を再編したものが一般的であるが、団体として活動している |
| Coopérative | 協同組合 | ル国法令に基づき設立される組合。組合員資格を得るため出資金を投資する。水セクターだけでなく、公衆衛生、農業、手工芸など多岐にわたるセクターにて同様の組合が活動している。 |
| Entreprise Privé | 民間企業 | 登記済で法人格を持つ |

受注方法は入札形式が主体である。ただし、地域によって既存の水利用組合に十分な運営能力があると判断された場合に、同委員会を再編し、新たに協同組合を設立するなどして、随意契約を成立させる。2009年2月現在の給水施設運営の民間活用（PPP 導入）は下表の通りである。

表 S2-3 全国給水施設運営 PPP 導入現状

| 県 | 郡 | 民間活用給水施設数 | 請負管理者数 | 民活開始年 |
|----|------------|-----------|--------|------------------------------|
| 南部 | Ruhango | 16 | 2 | 2005, 2008 |
| | Huye | 5 | 2 | 2005, 2008 |
| | Nyanza | 3 | 3 | 2006, 2007 |
| | Gisagara | 4 | 2 | 2006, 2007 |
| | Nyamagabe | 20 | 4 | 2006 |
| | Nyaruguru | 1 | 1 | 2007 |
| 西部 | Nyamasheke | 18 | 6 | 2005, 2007 |
| | Ngororero | 34 | 6 | 2007 |
| | Rubavu | 2 | 1 | 2007 |
| 北部 | Gicumbi | 8 | 5 | 2001, 2002, 2004, 2005, 2009 |
| | Burera | 37 | 9 | 2002, 2006, 2007 |
| | Rulindo | 2 | 2 | 2008, 2009 |
| 東部 | Bugesera* | 1 | 1 | 2005 |
| | Gatsibo* | 24 | 7 | 2005, 2006, 2007, 2008 |
| | Kayonza* | 19 | 6 | 2007, 2008 |
| | Rwamagana* | 4 | 1 | 2008 |
| 合計 | 16 郡 | 198 | 58 | |

* : 本調査対象郡

上記の内容と民間セクター（教会、民間病院、NGO、工場等）が建設・運営をしている 64 ヶ所の給水施設を加えると、国内全 847 給水施設に対し、PPP の普及率は 2008 年末で約 30% になり、2008 年末までの 35% 目標値を達成できなかった。以下に PPP 普及率の実績と目標を示す。2015 年までに 100% を望んでいるが、現実目標を 55% としている。

表 S2-4 PPP 導入の目標及び実績

| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2015 |
|-------------|-----|------|------|------|------|----------|
| PPP 普及率 (%) | 目標値 | | | 35 | 45 | 55 (100) |
| | 実績値 | 12 | 26 | 30 | 31* | |

*2009 年 2 月現在

(6) 対象地域の PPP 導入現況

対象地域での民間活用の動きについて、以下に現状を示す。

表 S2-5 対象地域の給水施設運営 PPP 導入現状

| 郡 | PPP 導入状況 (2009 年 2 月現在) |
|-------|--|
| ニャガタレ | 民間活用の計画はあるが、具体的導入時期は未定。 |
| ガツイボ | 2005 年より民間委託導入を開始し、現在、24 給水施設を 7 民間管理者現在で請負っている。 |
| カヨンザ | 2007 年 11 月より民間委託導入を開始し、2008 年 4 月で、無償建設の 4 施設を含む 19 給水施設を 6 民間管理者現在で請負っている |
| ルワマガナ | 郡内の 4 給水施設を 2008 年初頭に、1 協同組合へ委託契約を締結している。他の郡内給水施設は検討中である。 |
| ンゴマ | 現段階では、民間活用は当然考慮しない方針ですすめている。 |
| キレヘ | 郡内の給水施設は郡水利用組合が運営を行っているが、その組織を協同組合の形で進める計画がある。 |
| ブゲセラ | 2005 年に民間へ委託したが、契約終了後、再契約はせず、その後は当時の MINITERE が直接予算で運営し、現在は MININFRA の予算で継続している。 |

(入手先: 世銀 WSP の PPP 導入推進プロジェクト)

(7) PPP への課題

給水施設の運営・維持管理の民営化（民間活用）により、給水サービスの信頼性の向上が期待されるが、現在の請負契約には、施設の更新や改修・拡張等に関わる約款（業務範囲の明確な規定）がないため、持続性に疑問がある（一部、例えば西部県ニャマシヤケ郡のケースを除く）。また、委託契約期間は、1年～5年と比較的短期であり、特に1年契約を請負う民間管理者にとっては不利な条件といえ、よりよい運営を展開するためのインセンティブ付与にはつながらず、効果は期待できない可能性がある。

(8) 課題への対応

ル国内給水施設の請負民間管理者は、実務経験が乏しい者が多く、また管轄の給水施設が老朽化し改修が必要な状態であるが、適切な改修計画を立てられないなどの問題を抱えている。このような状況に対応するために、2008年4月14日～19日の6日間に亘って、世銀による約8百万Frwの支援で民間管理者の維持管理に係る技術研修が実施された。本研修は国内のローカル・コンサルタント/NGOであるCOFORWAに委託された。COFORWAの職員及びPEAMRのスタッフ、計7名により、31民間管理者の代表者に対し、研修を行った。研修の目的は以下の通りである。

- 給水施設の適正維持管理の取得
 - 適正財務・運営管理方法の取得
 - モニタリング・評価活動及びマーケティング方法の改善
- また、研修は以下の内容で実施された。

- PPPによる給水施設運営方針
- 給水施設の機能
- 故障の診断、修理技術、施設管理
- 作業計画
- 財務管理及び経理
- 財務報告
- モニタリング及び評価活動
- 効果的マーケティング方法

なお、上記研修の成果を生かし、民間管理者間の経験の共有と情報交換、今後発生する給水施設運営に関する問題の解決に対応すべく、「ルワンダ給水・衛生システムに関する民間管理者によるフォーラム（FEPEAR: Forum des exploitants privés des systèmes d'alimentation en eau et d'assainissement au Rwanda）」が2008年7月に形成（現時点で未承認）された。本組織の主要目的は以下の通りとしている。

- 政府・行政及び他の官民パートナーへの弁護役を果たす
- フォーラムの他メンバーへの研修を通して、給水施設の技術的・財務的運営の改善へ支援する
- フォーラム・メンバー間及びパートナー間の情報交換網（新聞、配布資料、マスメディア等を通して）を形成する
- 給水・衛生施設の適正運営のために、基礎工具類や交換部品の調達システムを構築する

全ての民間管理者は当フォーラムの会員になることが義務付けられている。第1回目の会合で、各会員から10,000Frwが徴収され、これで通信費や交通費等を賄っている。次の会合で、年会費等を定める予定である。また、会員により、フォーラム活動に必要な費用支援をドナーや団体に呼掛けている。

調査対象地域の東部県は東部平原に当たり標高約 1,000～1,500m の範囲にあり、南部は起伏に富み、北部に行くにしたがい準平原の様相を呈してくる。南東部の国境地帯はアカゲラ川流域の低地帯や湖沼で形成され、東部国境にはアカゲラ国立公園が設けられている。東部県は他地域に比べ開発が遅れていると言われているが、人間や家畜が進入できる所全てが耕作地や放牧地として既に開発されている。起伏に富んだ南部地域の急斜面でさえも耕作地として利用され種々の作物が作付けされている。

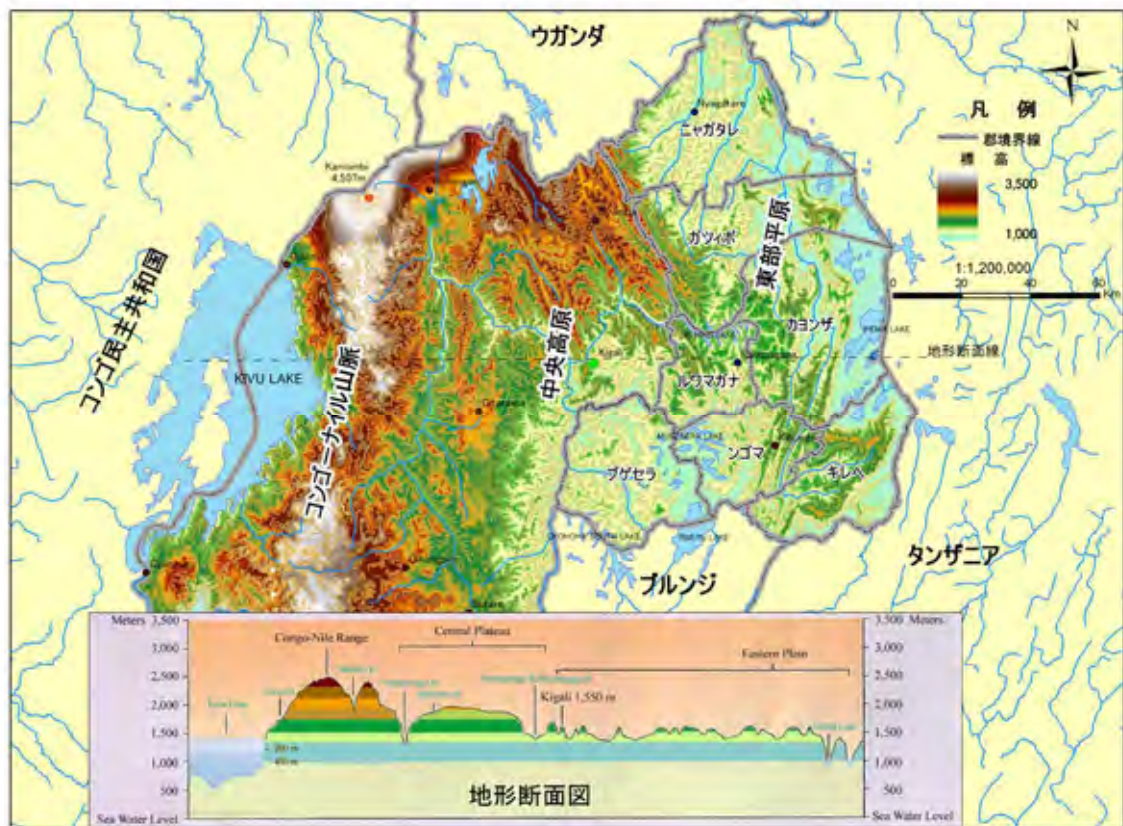


図 S3-2 ルワンダ国地形概念図

S3.2 地質

「ル」国では、先カンブリア紀に属している変成岩類と花崗岩類が基盤岩を構成し全土に広く分布し、変成岩類は砂質～泥質堆積物が低～中圧の変成作用を受けた片岩類を主体としている。また、花崗岩類は変成作用の起源となった貫入岩体である。新生代以降にはアフリカ大地溝帯の活動が活発となり、カリシンビ山等を中心とするヴィルンガ火山群の火山活動により国土全体が厚く火山噴出物で覆われた。やがて、火山活動の収束と共に厚く堆積した火山堆積物は徐々に開析され、山腹斜面の崩壊によって堆積した崖錐層や河川の上流から運ばれてきた土砂が堆積し、河川や谷沿いに沖積低地や湿地帯として分布している。地質構造は、国土の東西方向から地溝帯活動圧力に挟まれている関係で、先カンブリア紀の変成岩類は南北に伸びる帯状の分布を示す他、ほぼ同じ走向の断層が多く認められるのが特徴である。

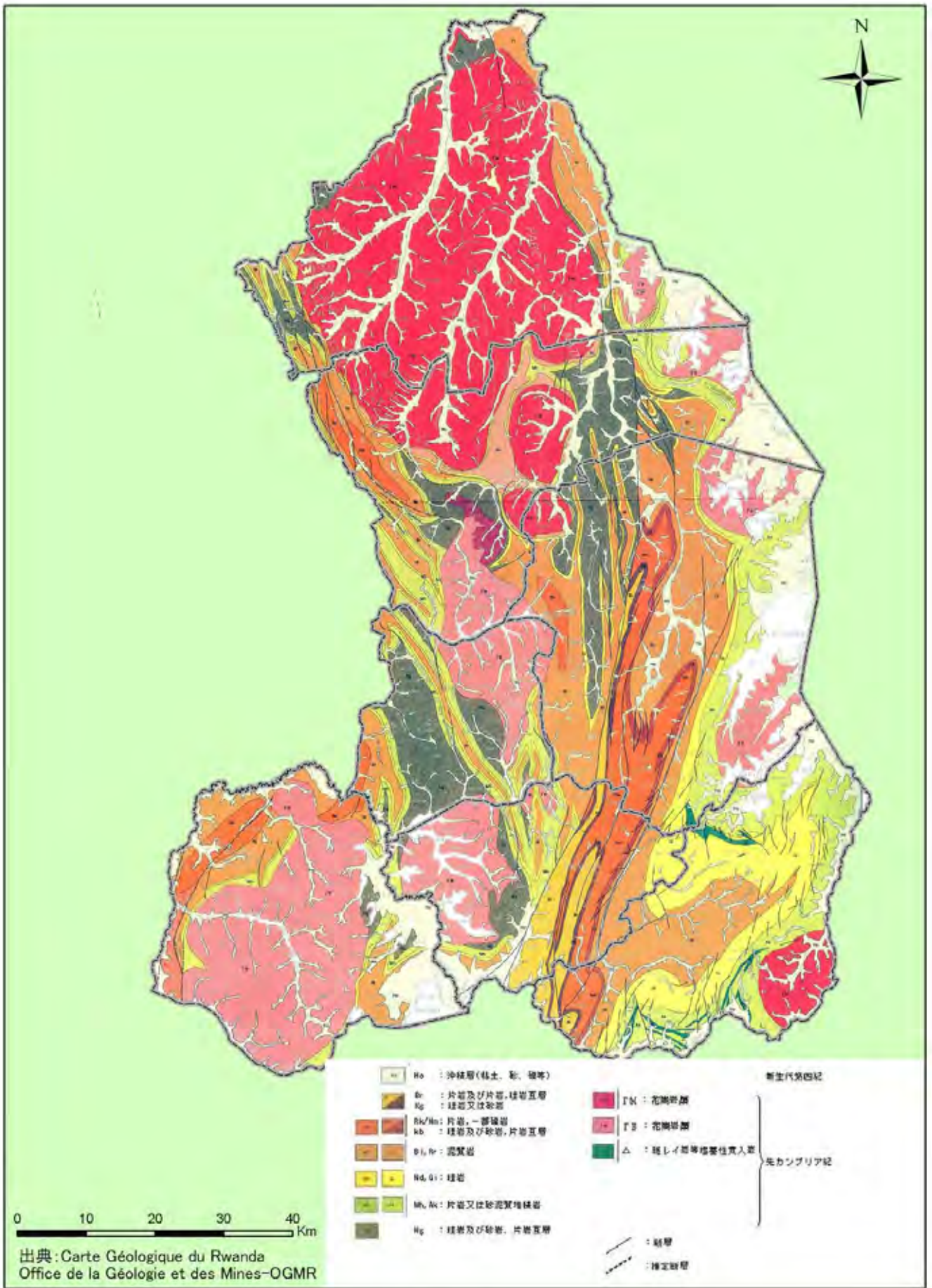


図 S3-3 東部県地質図

県西部は貫入岩体の花崗岩類がニャガタレ郡からルワマガナ郡を経てブゲセラ郡にまで広く分布し、北部県との県境沿いには変成岩類が細く帯状に分布している。県央部及び南東部には、南北方向に珪岩や片岩等の変成岩と泥質岩や砂岩よりなる堆積岩類が分布している。東部タンザニア国境は湖沼群とその廻りを埋める形で堆積した幅数キロメートルの沖積層が分布している。その他に沖積層は県内全域の河川や谷沿いに分布し粘土、砂、砂礫層より構成されている。

S3.3 気象

(1) 観測所と気象データ

気象観測所のうち現在も機能しているのは Kigali と東部県ンゴマ郡 Kibungo の観測所である。Kigali 観測所では気温、降水量、蒸発散量、相対湿度が毎日観測され、Kibungo では、気温と降水量が毎日観測されているが、一部欠測期間がある。その他に降水量のみを観測する所が 5 ヶ所である。

表 S3-1 気象観測所

| 観測所 | 緯度 | 経度 | 標高(m) | 観測項目 | 備考 |
|--------------------|----------|----------|-------|------------------|------|
| Kigali | S 01°58' | E 30°08' | 1,490 | 気温、降水量、蒸発散量、相対湿度 | 観測継続 |
| Kibungo (ンゴマ郡) | 02°11' | 30°30' | 1,645 | 気温、降水量 | 観測継続 |
| Sake (ンゴマ郡) | 02°13' | 30°23' | 1,407 | 降水量(2008 年から観測) | 観測継続 |
| Gabiro (ガツィボ郡) | 01°33' | 30°24' | 1,472 | 降水量(1990 年まで) | 観測停止 |
| Kiziguro (ガツィボ郡) | 01°46' | 30°25' | 1,550 | 降水量(1990 年まで) | 観測停止 |
| Ngarama (ガツィボ郡) | 01°35' | 30°14' | 1,500 | 降水量(1990 年まで) | 観測停止 |
| Kagitumba (ニャガタレ郡) | 01°03' | 30°26' | 1,280 | 降水量(1990 年まで) | 観測停止 |

(2) 気温と降水量

Kigali、Kibungo 共に月平均気温は年間を通して 20 から 22℃の範囲内を推移しており、大きな変化はみられない。年間の最高気温は Kibungo で 3 月から 4 月にかけて 29℃、最低気温は 10 月から 11 月にかけて 14℃である。

年間降水量(2001-2008 年の平均)は Kigali で約 943mm、Kibungo(2007-2009 年の平均)で 1,267mm と 1,000mm 前後にある。季節的にみると雨期は年初(2~4 月)と 10~11 月間の 2 回になり、また、6 月~8 月の乾期の間は殆ど降雨がみられない。これらの降水パターンは全県をとおして同様である。

図 S3-4 及び表 S3-2 にこれら各観測所における気象状況を表示する。

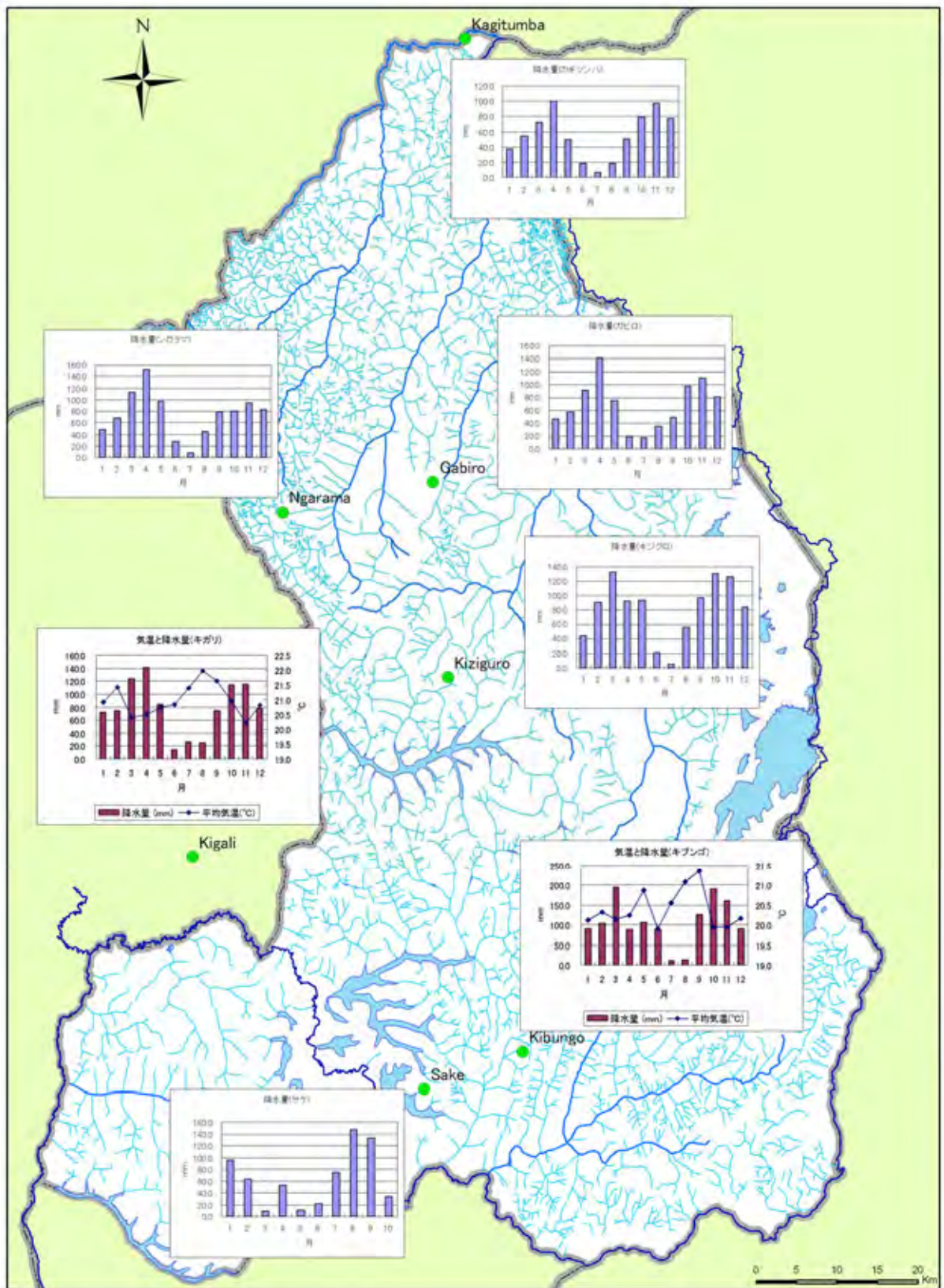


図 S3-4 気象観測所位置と降水量と気温

表 S3-2 各観測所における月平均気温 (°C) と降水量 (mm)

| 観測所 | 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 年 |
|--------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|---------|
| Kigali (2001-2008) | 平均気温 | 20.9 | 21.4 | 20.4 | 20.5 | 20.7 | 20.8 | 21.4 | 22.0 | 21.6 | 20.9 | 20.2 | 20.8 | - |
| | 降水量 | 72.5 | 74.4 | 123.4 | 140.3 | 84.2 | 14.8 | 26.0 | 25.4 | 74.1 | 114.7 | 115.6 | 78.0 | 943.3 |
| Kibungo (2007-2009) | 平均気温 | 20.1 | 20.3 | 20.1 | 20.2 | 20.9 | 19.9 | 20.6 | 21.1 | 21.4 | 20.0 | 19.9 | 20.2 | - |
| | 降水量 | 90.2 | 104.8 | 195.3 | 89.2 | 106. | 87.6 | 11.5 | 14.1 | 125.9 | 191.4 | 161.7 | 89.6 | 1,267.3 |
| Sake (2008-2009) | 降水量 | 58.4 | - | 95.7 | 63.4 | 9.4 | 53.2 | 10.9 | 22.1 | 74.4 | 146.7 | 132.5 | 33.4 | 700.1 |
| Gabiro (1981-1989) | 降水量 | 47.4 | 57.8 | 91.8 | 141.1 | 74.9 | 19.2 | 18.0 | 35.7 | 49.8 | 97.6 | 110.3 | 80.6 | 824.1 |
| Kiziguro (1981-1990) | 降水量 | 44.6 | 90.1 | 132.3 | 92.7 | 93.5 | 21.0 | 5.1 | 55.4 | 96.5 | 130.7 | 126.7 | 83.9 | 972.4 |
| Ngarama (1986-1992) | 降水量 | 48.6 | 68.2 | 113.4 | 152.1 | 96.6 | 27.3 | 8.4 | 44.3 | 79.0 | 80.4 | 94.8 | 82.9 | 896.0 |
| Kagitumba (1981-1990) | 降水量 | 38.1 | 54.2 | 72.2 | 100.4 | 49.4 | 18.8 | 6.6 | 19.3 | 50.8 | 79.6 | 97.2 | 77.0 | 663.6 |

(3) 湿度

湿度については、Kigali 観測所の 2001 年から 2008 年までのデータを手に入れたが、Kibungo においては 2008 年 1 月から 6 月までの記録のみである。Kigali では雨期で約 80%、乾期に約 60%となっている。

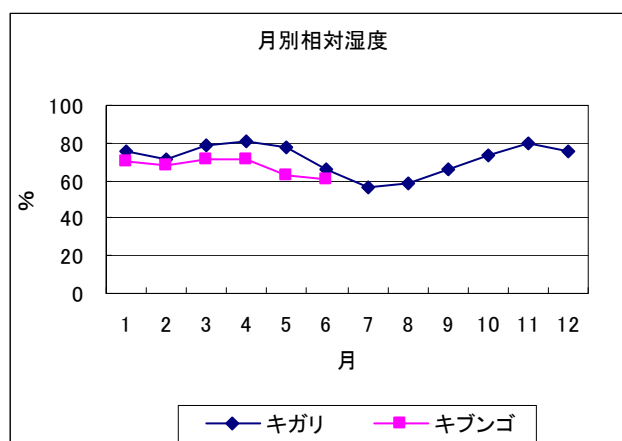


図 S3-5 相対湿度図 (Kigali、Kibungo)

表 S3-3 Kigali (2001-2008) と Kibungo (2008) における相対湿度 (%)

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kigali | 75.2 | 71.4 | 79.1 | 80.7 | 77.8 | 65.6 | 56.5 | 58.7 | 66.0 | 73.4 | 80.0 | 75.5 |
| Kibungo | 70.5 | 68.1 | 71.0 | 71.3 | 63.0 | 60.7 | - | - | - | - | - | - |

S3.4 東部県の水資源

(1) 水源の種類

東部県において利用されている水源は、地下水と表流水及び雨水である。地下水は山麓斜面や谷低地の沖積地において井戸から利用されている場合と、湧水として利用されている所がある。湧水は、山麓斜面が谷の低地部（沖積地）と接する境界斜面から流出しているものと、谷筋に形成された崖錐から流出しているものがある。後者の方の湧出量が一般的に前者と比較し多く産出する傾向にある。それらが自然あるいは人工的に地表面に現れた場合はそのまま谷川となり河川水となる。表流水には河川水と湖沼水があるが、河川水は上流から下流に流下するとともにその濁度を増し、最下流のアカゲラ川本流では黄褐色を呈している。東部県の全郡には大小の湖沼があり、湖水地域の住民はこれを利用しているが、生活排水が流入し、家畜の水飲み場になっている場合もあり水質汚染が進みつつある。雨水は、一部の学校及びウムドゥグドゥで雨樋を利用し 1～5m³ 容量のプラスチックタンクに貯め雑用水として利用されているところもある。

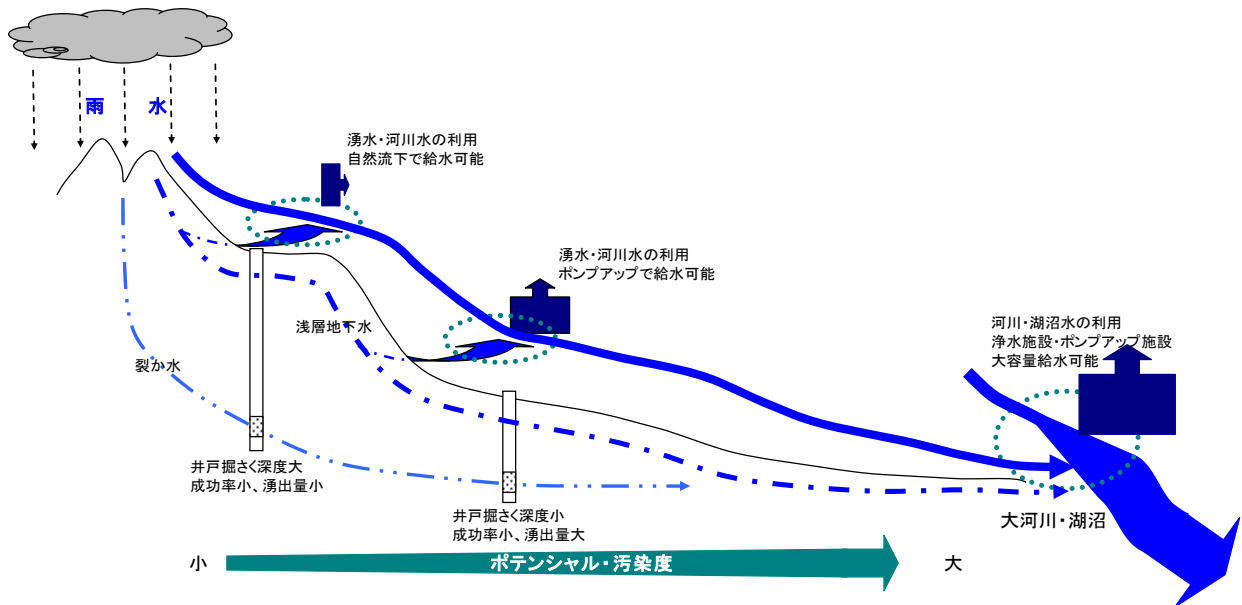


図 S3-6 水利用模式断面図

1) 地下水・湧水

対象地域の地下水の賦存状況に大きく影響を与える東部県の地質分布状況は、大きく以下の3つの地域に分けることが出来る。(図S3-7参照)

- ① 崖錐や沖積層で形成されている谷部
- ② 泥質岩や砂岩からなる堆積岩とそれらが変成された変成岩類とが分布する地域
- ③ 花崗岩が分布する地域

沖積層で形成されている谷部は、良好な帯水層を形成しており多くのハンドポンプ付き井戸がこの周辺に掘削され利用されている。しかし、使用している住民からは湧水に比べ異臭がする、味が劣るといった報告もあり、近くに別の水源がある場合には、ハンドポンプを利用しない傾向がある。

変成岩類が分布する地域は急峻な山岳地形を形成しており、年間の降水量も比較的多く地下水の涵養源となっているが、古い時代に形成された地質で変成や再結晶化が進み雨水は地中深くしみこまず、表土及び風化帯内を流下し湧水として地表に現れている。湧水を利用した自然流下方式の水道水源の多くが、この地域に位置している。

花崗岩が分布している地域は、なだらかな丘陵地が形成され表土も薄く雨水の浸透を拒んでいる。そのため樹木は高く生長せず草原に覆われ、地下水も限られた谷筋に沿って僅かに分布するのみである。地下水はもとより湧水や河川水も得にくい地域となっている。花崗岩や変成岩は先カンブリアン系の古い時代に形成された地質であるために、非常に強固に締まっており、それ自体水を通さない性質であることに起因する。

前記のような特徴をまとめ下図のようになる。

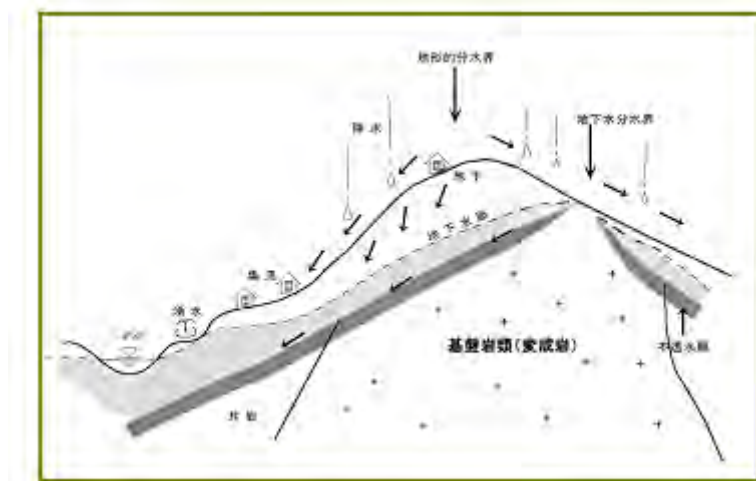


図 S3-7 地下水賦存模式断面

このような事情から、地形的高所では直接基盤岩類が露頭していることが多く、降雨は図S3-7の様に地中深く浸透せず、谷側の崖錐や沖積層に流下し、湧水となって地表に出てくる構造となっている。

これまでの調査や地下水開発案件の実施実績から次のようなことが言える。

- ① 地形的高所では良好な帯水層が形成されることは少ない。
- ② 崖錐堆積物や沖積層が堆積する谷筋に沿った低地帯(山腹斜面下部を含む)は、山地から流下してきた地下水が、基盤岩の風化帯、裂か及び未固結層の空隙を充填しており、地下水の賦存条件は高地に比べて良好である。

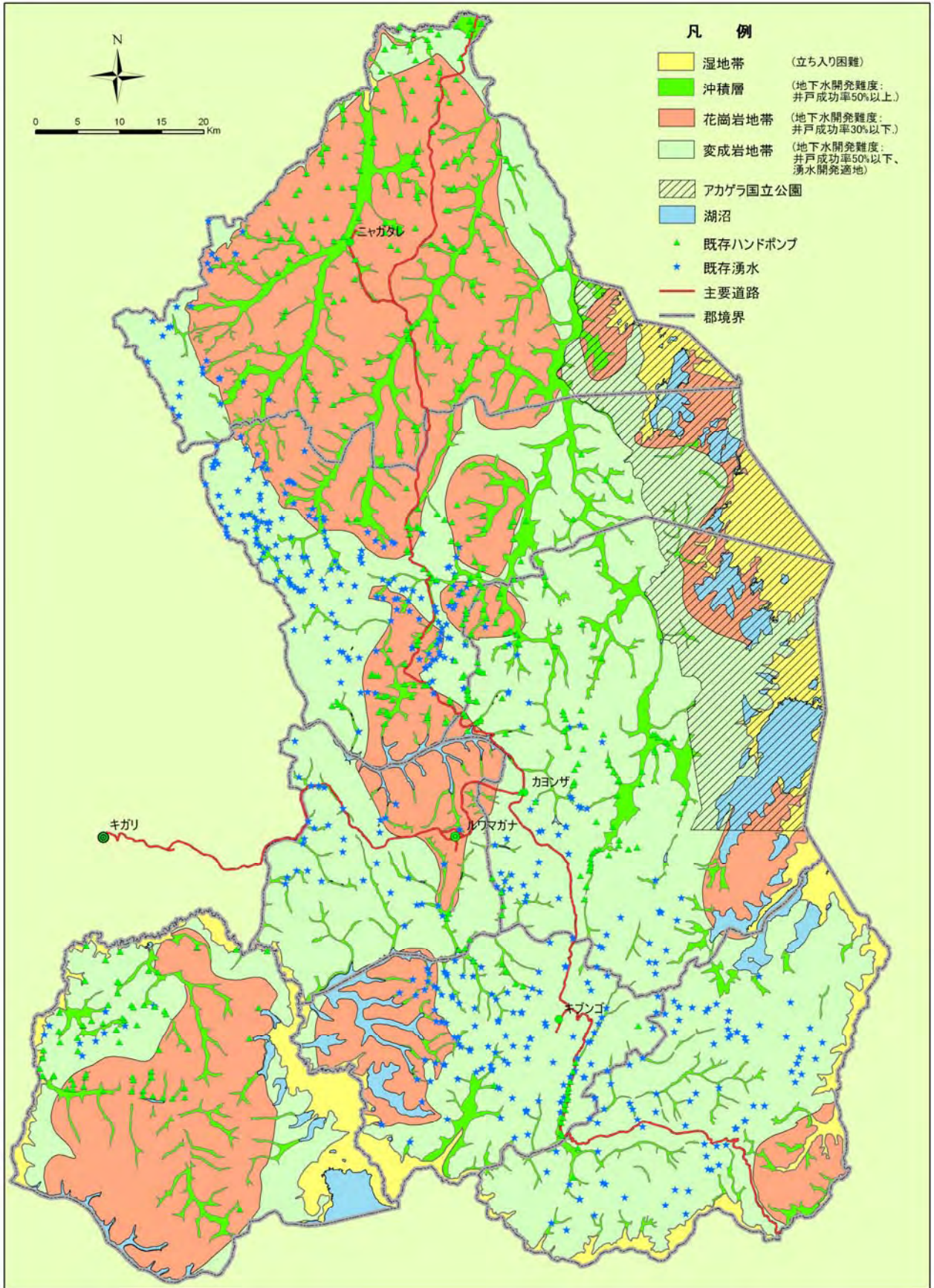


図 S3-8 東部県概略水理地質図

2) 表流水・湖沼水

東部県の河川は、アカゲラ水系に属している。アカゲラ川は、当国の西部山地に源を發するニャバロンゴ川が、ブルンジ国境のルウェル湖付近で南方向から東方向に河道が変わり、アカゲラ川となる。当河川は、タンザニア国境沿いに流下し、ルスモ付近から、その流路を北方に変えてウガンダ国境に接するあたりから流路を東方に変えタンザニア国内のヴィクトリア湖に流入する国際河川である。



図 S3-9 「ル」国水系図

このアカゲラ水系に支配されている東部県の河川は大きく次ぎの5つの流域界に分けることができる： 1. 北部流域界、2. 中央部（ムハジ湖）流域界、3. 東部湖沼流域界、4. 西部流域界、5. 南部流域界。

a. 北部流域界

北部流域界は旧ウムタラ県内の河川に当たり、現在のガツイボ郡の Rugarama、Kageyo セクトゥール附近から北部ニャガタレ郡にかけての流域界を含む。この流域界内の河川域としては、①ムブンバ川流域、②カランガジ川流域、③テンデ川流域の3流域がある。

ニャガタレ郡南部地域の給水施設の水源の一部は、ムブンバ川最上流のンゴマ川より取水している。また、Musheri、Matimba セクトゥールはムブンバ川の伏流水を水源としている。

b. 中央部（ムハジ湖）流域界

この流域界はムハジ湖を取巻く小規模河川流域であり、ガツィボ郡の南西部、カヨンザ郡の北部の一部とルワマガナ郡の北部にわたる流域界に当たる。ムハジ湖は、当東部県のほぼ中央部に位置し、東部から西部方向に約 26km にわたり細長く、東部側が樹枝状に広がっている湖水である。東部側は停滞性の湖水状況であるが、Murambi セクトゥールのルワンクバ附近から河道は狭くなり西側に流出している。この湖に流入する河川のうち東部から流入する河川は、北から①ニヤマレベ川、②ガケンエリ川、③チャバタンジ川、④ガシヨゴシヨゴ川、⑤タルカ川がある。これらの河川はいずれも間欠河流で、その流域低地は湿地帯となっている。ルワマガナ周辺セクトゥールに給水している水道施設の水源は、ムハジ湖から取水している。

c. 東部湖沼流域界（イエマ湖、ハゴ湖流域）

ガツィボ郡東部とカヨンザ郡東部に広がるアカゲラ国立自然公園に分布する湖沼群に流入する河川の流域界である。アカゲラ川はタンザニア国境からウガンダ国境にかけて流下する流域に多くの湖沼群を形成している。代表的な湖として、ハゴ湖、イエマ湖（カヨンザ郡）、ナシヨ湖（キレヘ郡）があるが、この湖沼群への流入河川の規模は小さい。

d. 西部流域界

この流域はキガリを通過して南方に流下するニャバロンゴ川流域で、ブグセラ郡の河川域である。ニャバロンゴ川は当国の西部山地に源を發し、一旦北上するが、途中から流路を南に変え、キガリ附近を通過して、ブグセラ南部でアカゲラ川となる河川である。ブグセラ郡に給水している水道施設は、この流域の南チョホハ湖を水源としている。

e. 南部流域界

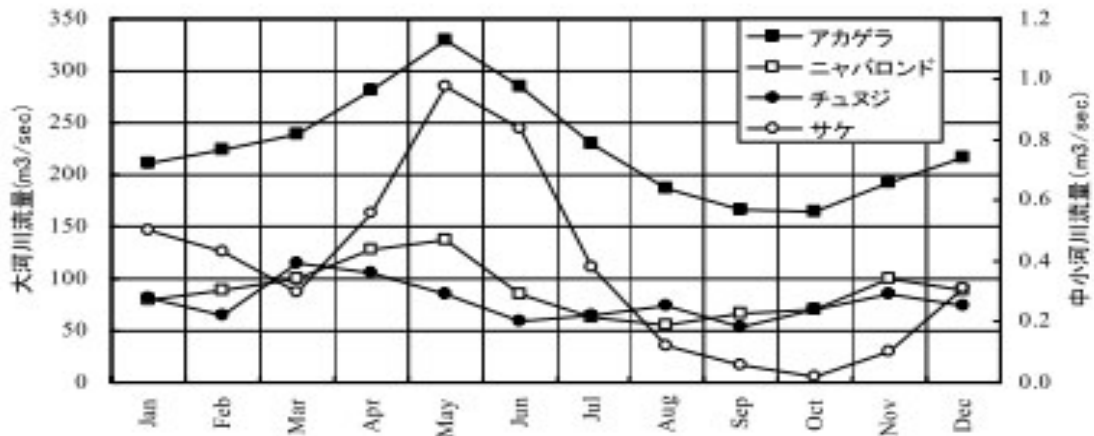
この流域界は、ルワマガナ南部のルゲンデ川流域とンゴマ郡南部（ムゲセラ、ガホンド）とキレヘ郡（旧ルスモ郡）内の河川域である。ンゴマ郡内には常時流下する河川は見当たらない。マトンゴ川（ガホンド）は Sake、Jarama セクトゥールと Kazo、Mutenderi セクトゥールの境界を流れるが流域は湿原地帯となっている。キレヘ郡内の河川としてはチュヌジ川、ガヘジ川（ルワギツグサ）が代表的河川で、両河川とも流量がある。チュヌジ川は旧ルキラ郡内から南下する河川で途中ガヘジ川と合流し、下流域で名前をルワギツグサ川に変えてアカゲラ川に流入する河川である。ガヘジ川はキレヘ郡内を東西に流れる河川である。両河川の合流域は水田地として利用されている。アカゲラ川は南部タンザニア国境沿いを東方に流下し、ルスモ附近で流路を北方に変える。この流域にも中小河川が見られる。



図 S3-10 水系区分図

3) 河川流量と流出率

県内にはアカゲラ川系の多くの支流があるが、常時流量のある河川は少なく、過去の資料からみても、アカゲラ川、ニャバロンゴ川、チュヌジ川、サケ川が記載されているが、今回の調査時点では、これら河川の中で観測データはチュヌジ川のみ残っていた。しかし、2006年に実施された「ルワンダ共和国地方給水計画基本設計調査報告書」では、アカゲラ川、ニャバロンゴ川、チュヌジ川、サケ川の観測データを入手し分析している。以下にその結果を示す。



出典：JICA ルワンダ共和国地方給水計画基本設計調査報告書 2006

図 S3-11 計画地域の河川流量

雨期に入る3月頃から流量は増加し、その後乾期に向かう5月頃から減少し始め、大河川に属するアカゲラ・ニャバロンド川では10月が河川の最低流月に当たり、一方小河川では8/9月が河川の最低流月に当たる。小河川での流量の変化が約1~2ヶ月後に大河川の流量に影響を与えているものと推定される。乾期には降雨がほとんどないことから、8~9月の流量が小河川の基底流量に相当するものと考えられ、河川は流域からの地下水の流出により涵養されているものと考えられる。

図 S3-12 は、チュヌジ川流域での流出率と降水量¹との関係である。流出率は降水量と流出量との比で表される。これによると雨期の2月・3月、9月・10月・11月は降水量の約15%~20%が河川流量を賄っていることになる。また、乾期の7月・8月は降水量では不足しており、地下水からの流出があるものと考えられる。

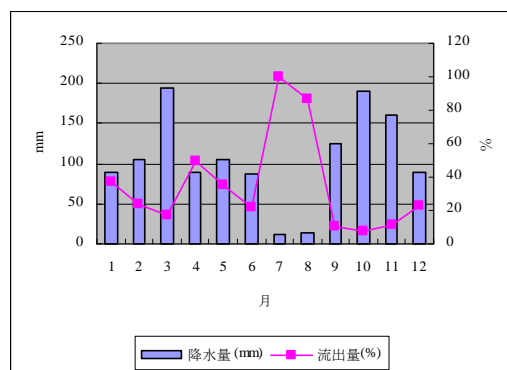


図 S3-12 降水量と流出率の関係 (チュヌジ川流域)

¹ 月平均流量：チュヌジ川ルキラ観測所 (1996-1999)、降水量：キブンゴ気象観測所 (2007-2009)

表 S3-4 降水量と流出率

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| 降水量(mm) | 90.2 | 104.8 | 195.3 | 89.2 | 106 | 87.6 | 11.5 | 14.1 | 125.9 | 191.4 | 161.7 | 89.6 |
| 流出率(%) | 37.3 | 23.4 | 17.3 | 49.1 | 35.0 | 22.0 | 100< | 86.3 | 10.4 | 7.6 | 11.4 | 22.9 |

4) チュヌジ川流域における水収支

図 S3-13 は、チュヌジ川流域における月別の水収支関係を表している。降水量（実測値）と可能蒸発散量（計算値）は当河川に近いキブンゴの資料、流出高は河川流量を流域面積（80 km²）で除した数値である。蒸発散量 + 流出高は、特に乾期の7月・8月に降水量を大きく上回っている。また、通年の合計では降水量とほぼ同量であるが、ただし、この中には地下水へのかん養量分が含まれていない。すなわち、水収支では地下水へのかん養量が少ないことを意味している。このことから考えると降雨による地下水へのかん養量は現在以上に増えることはないと推定される。

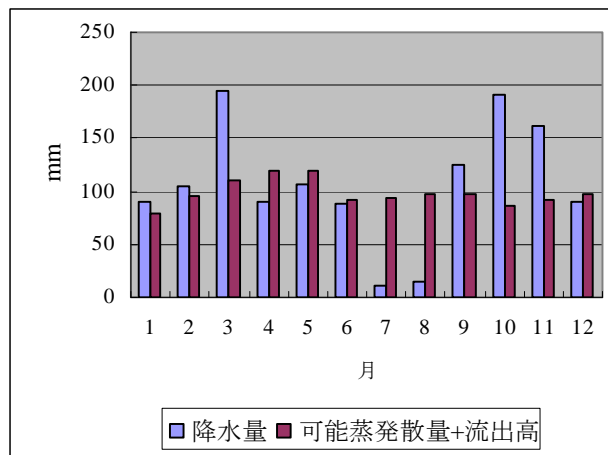


図 S3-13 チュヌジ川流域の水収支

表 S3-5 降水量(mm)と可能蒸発散量(mm)、流出高(mm)

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 年 |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|---------|
| 降水量 | 90.2 | 104.8 | 195.3 | 89.2 | 106.0 | 87.6 | 11.5 | 14.1 | 125.9 | 191.4 | 161.7 | 89.6 | 1,267.3 |
| 蒸発散量 | 76.3 | 70.4 | 76.4 | 75.0 | 82.7 | 72.3 | 79.9 | 84.6 | 84.5 | 74.9 | 72.6 | 76.7 | 926.3 |
| 流出高 | 33.6 | 24.6 | 33.8 | 43.8 | 37.0 | 19.3 | 14.5 | 12.1 | 13.0 | 14.4 | 18.4 | 20.4 | 284.9 |
| 蒸発+流出高 | 79.9 | 95.0 | 110.2 | 118.8 | 119.7 | 91.6 | 94.4 | 96.7 | 97.5 | 87.3 | 91.0 | 97.1 | 1,211.2 |

(2) 既存水源状況

東部県内で利用されている給水水源の、概要は次表のようになる。

表 S3-6 給水水源概要

| 水源タイプ | | 取水量 m ³ /日 | 給水地域 |
|-------|--------|-----------------------|--|
| 湖沼水 | ムハジ湖 | 1,200 | ルワマガナ郡 |
| | ムゲセラ湖 | 1,600 | ルワマガナ郡、 (その他に 11,000m ³ をキガリ市用に取り) |
| | チョホハ南湖 | 2,900 | ブゲセラ郡 |
| | 小計 | 5,700 | |
| 河川 | ンゴマ川 | 900 | ニヤガタレ郡 |
| | ムブンバ川 | 600 | ニヤガタレ郡 |
| | 小計 | 1,500 | |
| 地下水 | 湧水 | 13,000 | ニヤガタレ郡、ガツィボ郡、カヨンザ郡、 ルワマガナ郡、ンゴマ郡、キレヘ郡 |
| | 水中ポンプ | 200 | カヨンザ郡 |
| | ハンドポンプ | 3,000 | ニヤガタレ郡、ガツィボ郡、カヨンザ郡、 ンゴマ郡 |
| | 小計 | 16,200 | |
| 総合計 | | 23,400 | |

東部県内に供給されるべく各水源から取水されている総量は、約 23,400m³/日である。これらの水源は、全県に均一に分布しているわけではなく、その分布に偏った傾向がある。また河川を利用した水源はニヤガタレ郡に限られ、北部県と境界を接する山岳地帯に源を発するムブンバ水系に限られている。上流では直接川から取水しているが、最下流まで下ってくると濁度も 24.3 から 200NTU まで上昇するため、暗渠パイプで河川敷内の伏流水から採水している。



ンゴマ川トープ取水地点



ムブンバ川下流マチンバ取水地点

湧水の分布は、変成岩類が分布している地域に集中する傾向がある。花崗岩分布地域では、表土も薄く保水能力に乏しくまた地形もなだらかなため、湧水が発達しなかったと思われる。変成岩類地域は変成作用を受けた後の浸食作用により急峻な地形を呈するとともに、風化しやすい地質のために表土もある程度確保され、植生の繁茂もよく地表近くに保水されている。そのため安定的な水量を湧出する湧水が発達し、自然流下方式の水道水源としてニャガタレ、ガツィボ郡西部山岳地域とカヨンザ、ンゴマ、カヨンザ郡で古くから開発されてきた。しかし、最近その湧水量が減少してきていると郡役所及び地域住民からの聞き取り調査の結果として報告されているが、湧水量の経年変化の記録をとっているところがなく、その実態を数値として把握できていない。実際近年標高が2,000m以上の山岳地域での開墾が進み、地形勾配30°に達する傾斜地でも各種作付けが行われ、森林面積の減少が進んでいることは確かである。

これら水源の分布状況を図 S3-14 に示す。

(3) 水源と推定賦存量

東部県において水道水源となりうるのは湧水、地下水、湖沼水、河川水であるが、このうち、調査結果に基づいて湧水及び地下水の賦存量について、試算を行った。

1) 湧水

湧水は、図 S3-15 に示すように地下に浸透して降雨が地下水となり、その一部が地表に出現したもので、浅層を流下しているため滞留時間は短く降水量の季節変化を受けやすい。現在湧水として利用している湧水量を計測し、その流域面積の降水量との比率から降水量に対する湧水の割合を求め、湧水の賦存量を推定した。

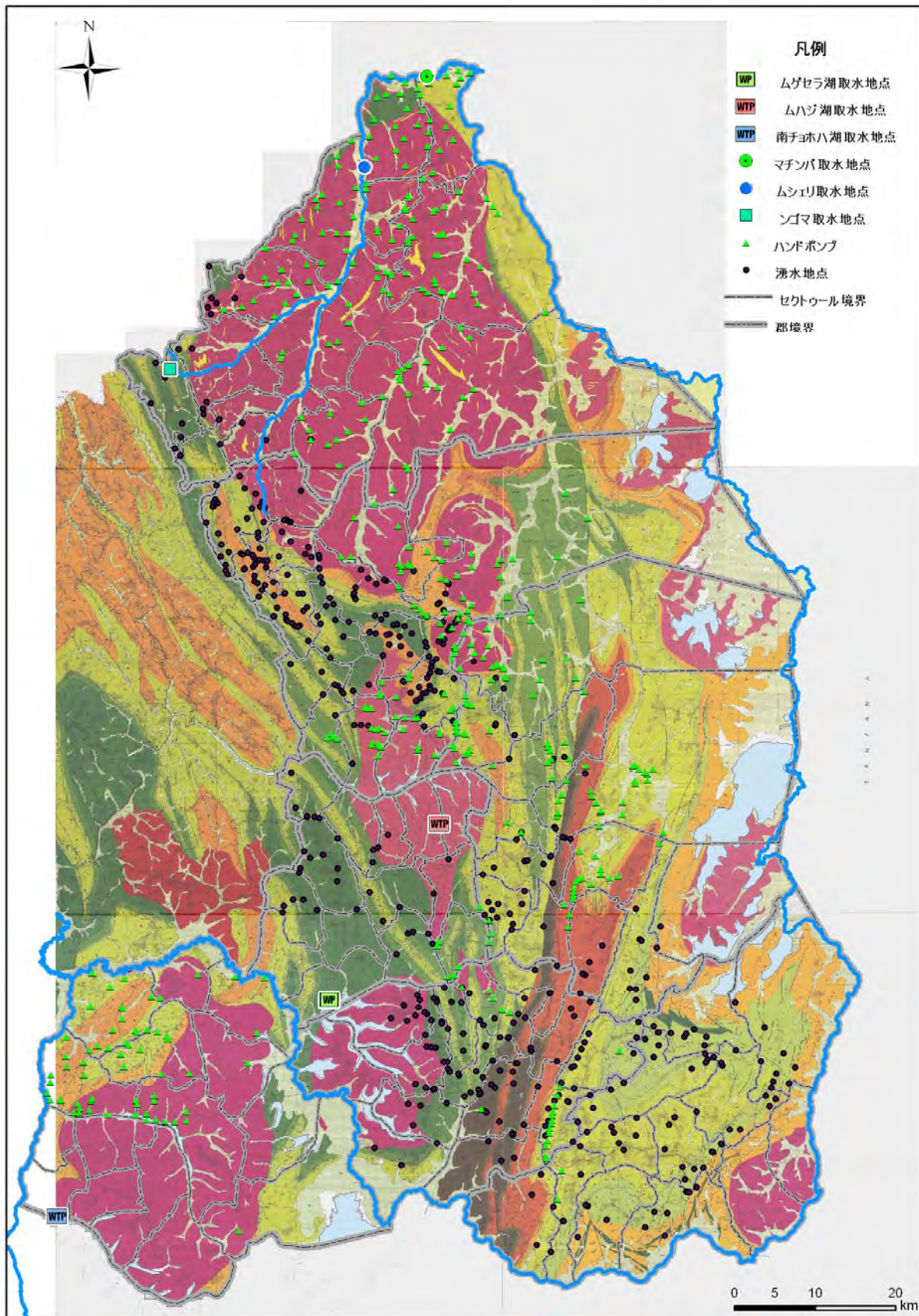


図 S3-14 既存水源位置図

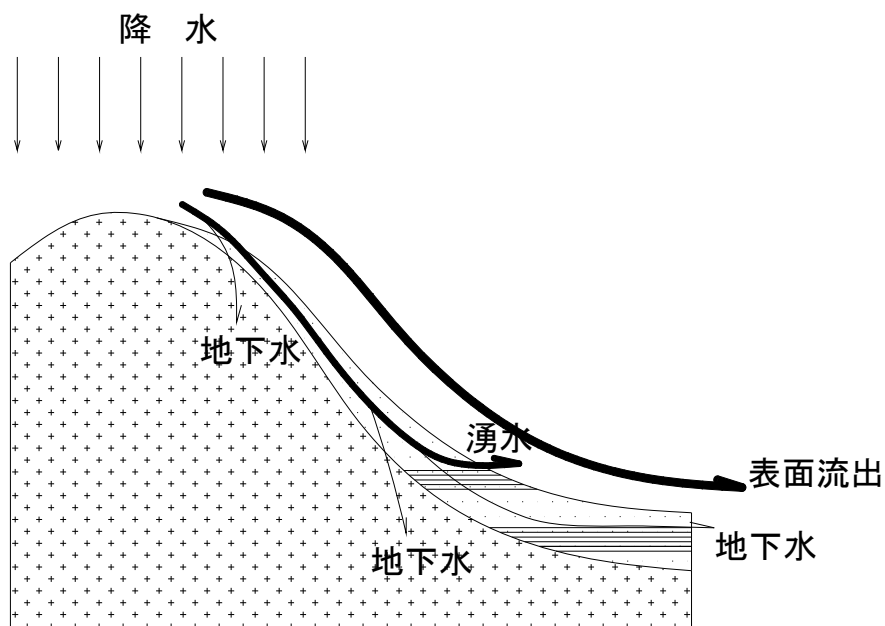


図 S3-15 湧水模式断面図

この割合を求めるために、東部県の中で湧水が発達している地域から 16 ヶ所の湧水地点を選び、現地で湧水量の測定を実施した。集水面積は五万分の一地形図より計算した。なお、湧水は、保護湧水の配水管から流出する水量を、一定容積を持つ容器で測定し、単位時間当たりの湧水量を算出した。

以上の測定結果、各湧水地点の集水面積及び年間降水量に占める湧水の計算結果を表 S3-7 に示す。また湧水測定位置とその集水域を図 S3-16 に示した。なお年間降水量は、Ngarama（ガツィボ郡）観測所における 1986-1990 年間の平均年間降水量を使用した。

表 S3-7 各流域内の降雨量に占める湧水の割合

| 郡名 | セクター名 | 湧水名 | 湧水量 | | 集水面積 | 集水域降水量 | | 年間降水量に占める湧水の割合 |
|-------|------------|--------------|----------|--|--------------------|-------------|------------------------|----------------|
| | | | 現地調査時測定値 | 年間湧水量に換算 | (地図上で計測) | 東部県平均降水 | 平均年間降水量 | |
| | | | ①(l/min) | ①×60×24×365/1000=②(m ³ /year) | ③(m ²) | ④(m) | ③×④=⑤(m ³) | |
| ガツイボ | Kiramuruzi | Kagina | 60 | 31,536 | 3,006,810.34 | 0.896 | 2,691,997 | 1.17% |
| | Muhura | Nyakagezi | 41 | 21,550 | 6,082,742.45 | | 5,445,879 | 0.40% |
| カヨンザ | Kabare | Kiburara | 64 | 33,638 | 48,241,890.87 | | 43,190,965 | 0.08% |
| | Kabarondo | Mubugazire | 180 | 94,608 | 6,663,765.26 | | 5,966,069 | 1.59% |
| | Murama | Gicaca | 92 | 48,355 | 5,629,659.93 | | 5,040,235 | 0.96% |
| | Murama | Nyaruriba | 68 | 35,741 | 8,988,071.14 | | 8,047,020 | 0.44% |
| キレヘ | Kigarama | Nyagashagara | 110 | 57,816 | 2,251,530.91 | | 2,015,796 | 2.87% |
| | Kigina | Rwakiriba | 108.5 | 57,028 | 3,030,663.13 | | 2,713,353 | 2.10% |
| | Nasho | Mutsindo | 62 | 32,587 | 3,431,077.86 | | 3,074,246 | 1.06% |
| ンゴマ | Kibungo | Nyamuganda | 162 | 85,147 | 3,826,708.75 | | 3,426,052 | 2.49% |
| | Kibungo | Rwasaburo | 260 | 136,656 | 9,370,985.49 | | 8,389,843 | 1.63% |
| | Mugesera | Nyakagezi | 40.5 | 21,287 | 1,895,828.13 | | 1,697,335 | 1.25% |
| | Murama | Kabashima | 65 | 34,164 | 15,070,534.67 | | 13,492,650 | 0.25% |
| ルワマガナ | Kigabiro | Kabura | 67.9 | 35,688 | 3,133,499.75 | | 2,805,422 | 1.27% |
| | Kigabiro | MKM | 60 | 31,536 | 16,034,346.27 | | 14,355,550 | 0.22% |
| | Muyumbu | Kwairivera | 32.4 | 17,029 | 11,881,678.97 | | 10,637,667 | 0.16% |
| | | | | 774,366 | | 132,990,079 | 0.58% | |

湧水地点毎に湧出機構や流域特性が異なるため、年間降雨量に占める湧水量の割合は2.87%から0.08%まで様々な値を示しているが、加重平均すると0.58%という結果であった。この加重平均値を対象地域における年間湧出量比率として扱い、これに集水面積を乗じて年間賦存量とした。

湧水の集水地域としては、花崗岩地帯と地形が平坦になっている地域では湧水が発達していないので、この地域を除いて、地図上で集水面積を計算した(図 S3-17)。これによる計算結果は下記の通りである。

集水面積×平均降水量×湧水量比率＝年間賦存量(利用可能湧水量)

$$3,237,000,000\text{m}^2 \times 0.896\text{m} \times 0.58\% = 16,822,000\text{m}^3$$

湧水量の測定時期が1～2月頃であり、この時期は必ずしも河川流量の基底流出の時期ではないため、多めに算出されている可能性がある。従い本報告書では上記計算結果の70%を利用可能湧水量 **11,775,000m³**とした。

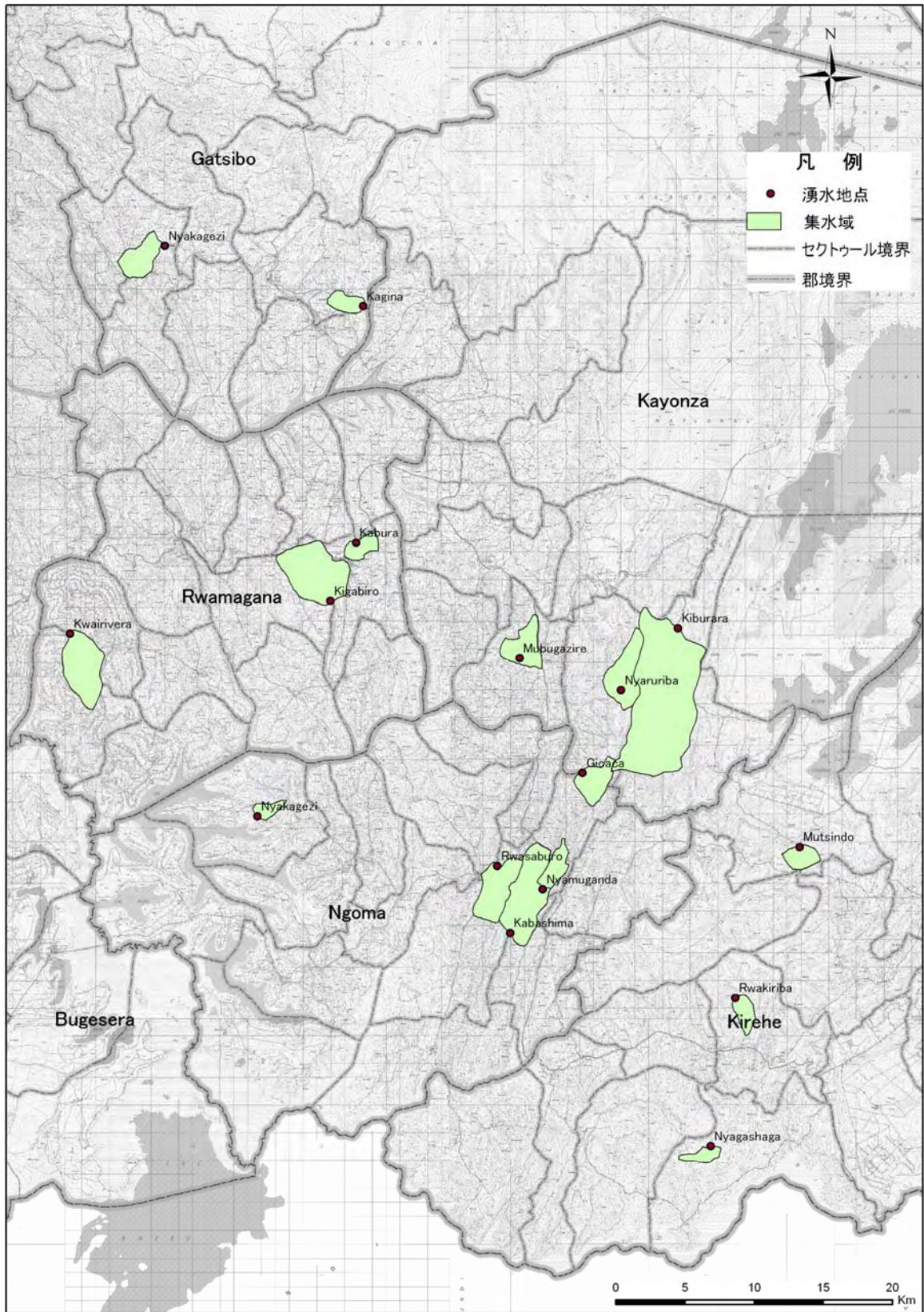


図 S3-16 湧水量観測地点および集水域

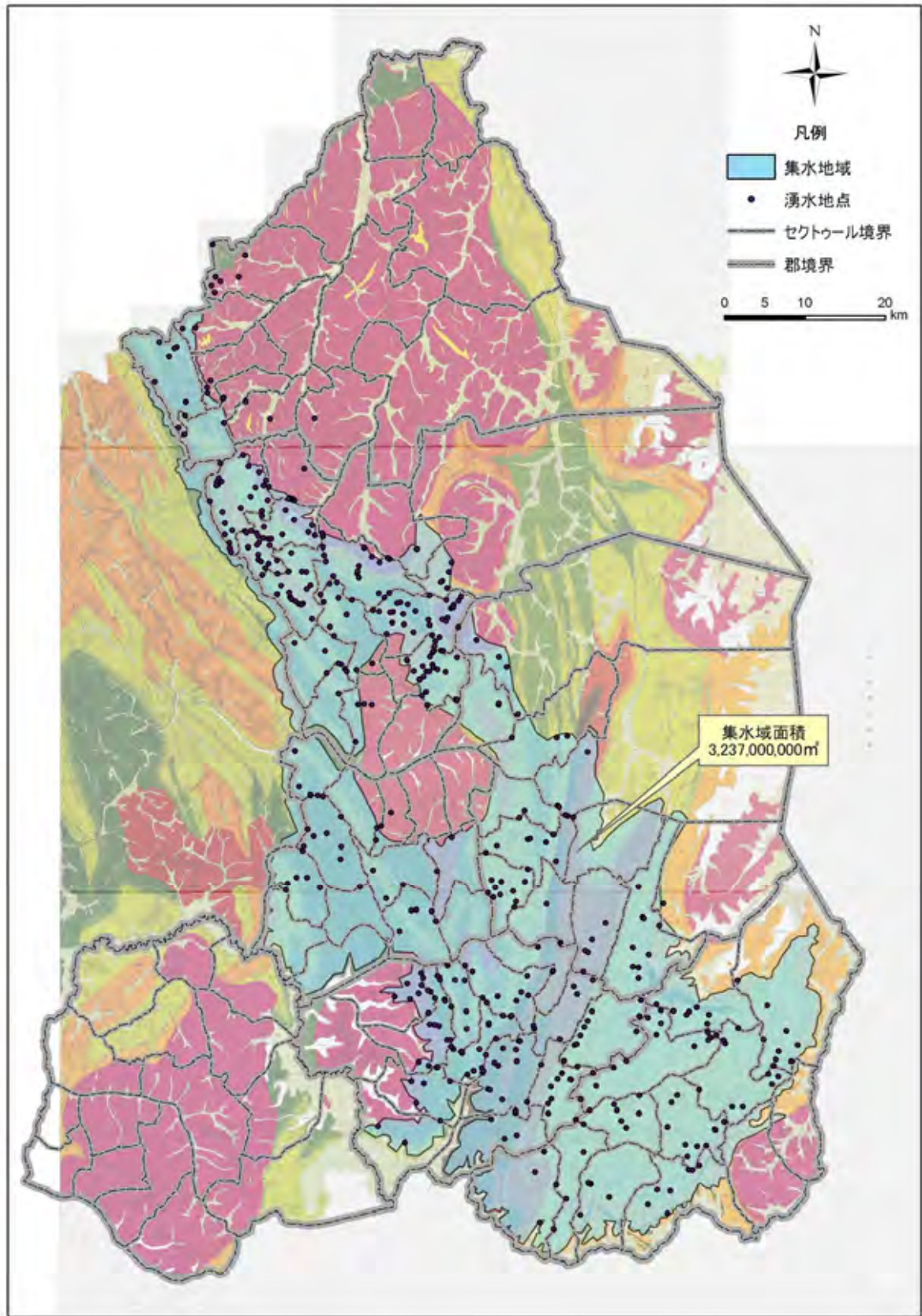


図 S3-17 湧水点分布図

2) 地下水

谷沿い低地に発達した沖積平野周辺が地下水開発の可能性が最も高い。適地を地図上で抽出し、その面積と帯水層の厚さに有効空隙率を乗じる事で地下水賦存量を推定した。帯水層として期待される風化帯の分布は、電気探査結果から基盤岩直上に平均層厚 21m で、平均深度で 24~45m に分布していることが確認されている。しかし同じ風化帯でも帯水層となり得る強風化バンドと弱風化バンドの存在があり、この強弱は電気探査の比抵抗値のみで同定することは困難である。従い、さらに既存井戸掘さく情報や掘さく業者からの聞き取り調査を分析し、成功井の大部分が谷沿い低地に分布すること、基盤岩上の強風化帯下部から採水していること、設置スクリーン延長は 6m 未満であることが確認できた。スクリーンは定尺（決まった長さ）で製作されているため、一般に余裕を持って設置されること、パイプジョイント部分にはスクリーンが加工されていない事を考慮し、帯水層は基盤岩上の強風化帯層厚 5m と想定した。

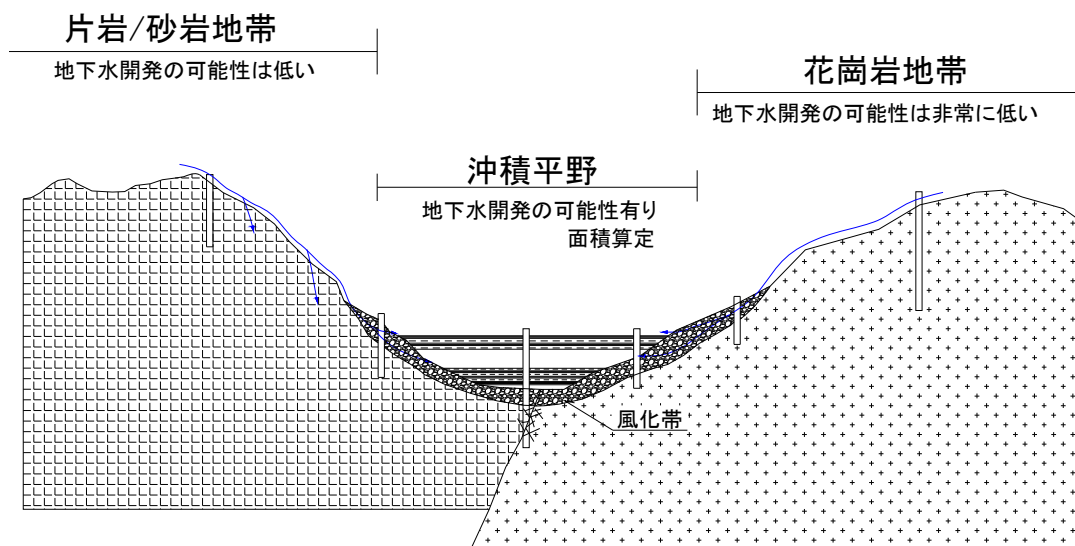


図 S3-18 対象地域の地下水開発可能地域

有効空隙率は、「Physical and Chemical Hydrogeology, 1st edition, Patrick A. Domenico and Franklin W. Schwartz」によると、間隙率を次表のように表し、有効間隙率は間隙率より 1 桁以上小さいとしている。この表から風化花崗岩の有効間隙率は 3.4-5.7%の間となり、また風化帯を電気探査結果の比抵抗値や構成構造から砂層（細砂）と見做すと 2.6-5.3%の間となる。本報告書では、砂層（細砂）と見做し 3%を有効空隙率とする。

表 S3-8 物質間隙

| 物 質 | 間隙率(%) | 物 質 | 間隙率(%) |
|-----------|--------|-------------|--------|
| 堆積物 | | 結晶質岩石 | |
| 粗粒の礫 | 24-36 | 割れ目のある結晶質岩石 | 0-10 |
| 細粒の礫 | 25-38 | 密度の高い結晶質岩石 | 0-5 |
| 粗砂 | 31-46 | 玄武岩 | 3-35 |
| 細砂 | 26-53 | 風化花崗岩 | 34-57 |
| シルト | 34-61 | 風化ハンレイ岩 | 42-45 |
| 粘土 | 34-60 | | |
| 堆積岩 | | | |
| 砂岩 | 5-30 | | |
| シルト岩 | 21-41 | | |
| 石灰岩、ドロマイト | 0-20 | | |
| カルスト石灰岩 | 5-50 | | |
| 頁岩 | 0-10 | | |

出典：Physical and Chemical Hydrogeology, 1st edition, 1990

井戸掘さく可能地 × 帯水層厚 × 空隙率 = 地下水賦存量

$$561,498,000\text{m}^2 \times 5\text{m} \times 3\% = 84,224,000 \text{ m}^3$$

井戸掘さく可能地：地質図より沖積地の面積を算出

帯水層厚：既存井および電探結果より想定

有効空隙率：砂層 3%を想定

3) 湖沼水

現在水源として利用されている湖沼は、ムハジ湖、ムゲセラ湖、チョホハ南湖である。これら湖の水位は計測されていないが、各湖から取水している浄水場担当者によると、湖の水位が年々下降している傾向は無く、年間の水位変化も 1m 未満であり、安定した取水を行っている。しかし湖沼の水位観測データ等が無く賦存量を算定することは困難なので、調査時点での湖からの取水量を利用可能量とし、取水量は以下の通りである。

表 S3-9 湖沼からの取水量

| 湖名 | 取水量(m ³) | |
|--------|----------------------|-----------|
| | 1日あたり | 年間 |
| ムハジ湖 | 1,200 | 438,000 |
| ムゲセラ湖 | 1,600 | 584,000 |
| チョホハ南湖 | 2,900 | 1,058,500 |
| 合計 | 5,700 | 2,080,500 |

4) 河川水

常時流下しており給水源として利用可能な河川は、ニヤガタレ郡と北部県ギチュンビ郡境界の山地に源を発するムブンバ水系である。この水系では既に 3 ヶ所で取水されており、流量は安定している。現在取水している地点での取水量は以下の通りである。

表 S3-10 河川からの取水量

| 取水地点名 | 取水量(m ³) | |
|-------|----------------------|---------|
| | 1日あたり | 年間 |
| ンゴマ | 900 | 328,500 |
| ムシェリ | 200 | 73,000 |
| マチンバ | 400 | 146,000 |
| 合計 | 1,500 | 547,500 |

ムブンバ水系上流の 2 地点で簡易な流量測定を乾期の 9 月に実施し、Kiyombe セクトゥール測定地点（ンゴマ取水地点）で 0.552m³/秒、Nyagihanga セクトゥール測定地点では 0.95m³/秒の結果を得ている。



図 S3-19 ムブンバ川流量測定地点

1)から 4)に記載した、東部県の大まかな水資源賦存量をまとめると次表のように年間総量は約 **1 億 m³** (約 27 万 m³/日) となる。

表 S3-11 東部県の水資源賦存量

| 水源 | 賦存量 | | 備考 |
|-----|-------------------|-------------------|-----------|
| | m ³ /年 | m ³ /日 | |
| 湧水 | 11,775,000 | 32,000 | |
| 地下水 | 84,224,000 | 231,000 | |
| 湖沼水 | 2,080,500 | 5,700 | 調査時点での取水量 |
| 河川水 | 547,500 | 1,500 | 調査時点での取水量 |
| 総計 | 98,627,000 | 270,200 | |

(4) 水質

本来、給水施設を運営している事業者が定期的に水質検査を行うべきであるが、既存情報が非常に少ないため、既存給水施設及び候補となる水源の水質を把握するために、パックテストによる簡易な水質試験を行った。事前調査時に閲覧した過去の水質検査の結果に加えて、今回の調査で行った既存管路系給水施設や保護湧水の水質試験結果によると、概ね WHO ガイドラインを満たしている。

しかし、ハンドポンプでは、鉄、マンガン、フッ素が高い値を示し基準値を超えている所があり、鉄、フッ素はニャガタレ郡の花崗岩分布地域で高くなる傾向にある(図 S3-21 参照)。また、ブゲセラ県のハンドポンプから揚水される水には、電気伝導度が高く 100～300mS/m を示すところがある。これらのハンドポンプが位置するところは、カムデベル湖とチョホハ北湖を含むウンワゴ谷沿いで、チョホハ北湖の電気伝導度も 137.2mS/m を示すことから、この谷沿いの地下水は高電気伝導度地域で、地下水採取対象地域としては適していない。この谷のチョホハ北湖等の湖は大きな流出口を持たず、降水量よりも蒸発量が上回る気候条件であるためにこのような高電気伝導度地域となった可能性がある。

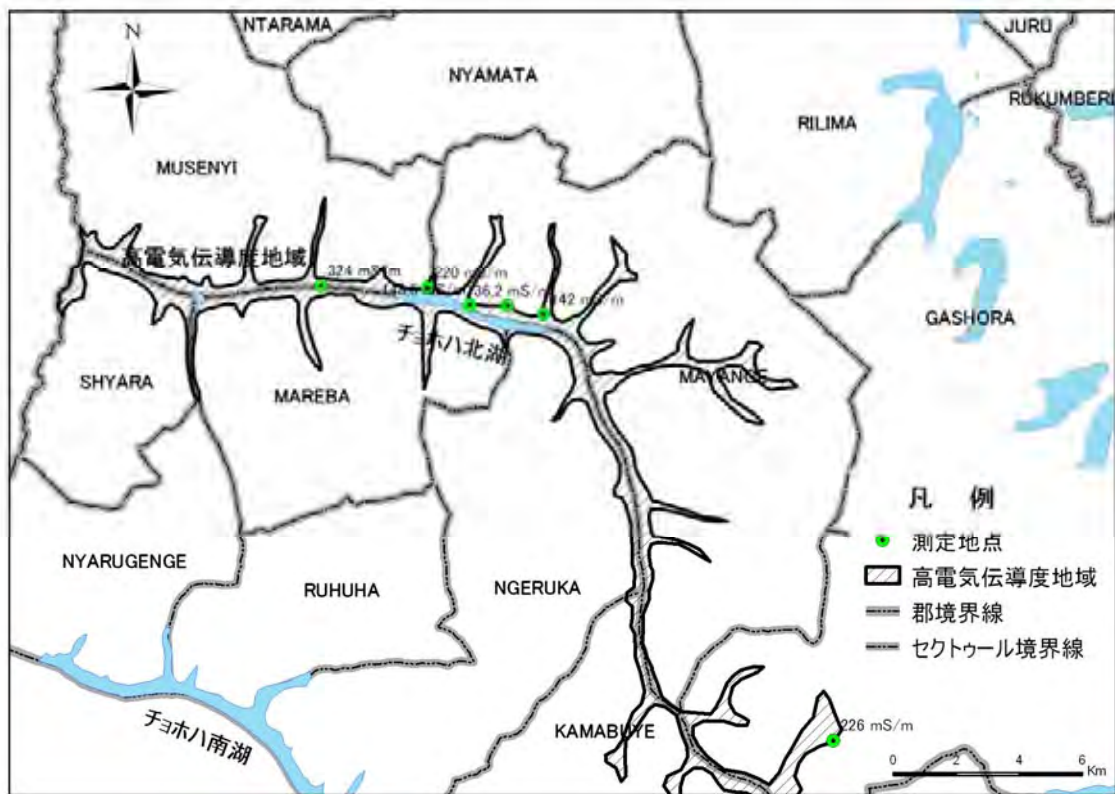


図 S3-20 ブゲセラ郡の高電気伝導度地域

一般にハンドポンプから汲み上げられる地下水は、飲用に適していると考えられるが、WHO 基準値を超えている地下水を汲み上げている井戸もあるので、今後住民への影響を継続観測し使用には注意が必要である。次項に水質分析一覧を示す。

表 S3-12 水質一覧

| No. | 位置 | | | 水源名 | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Yield ℓ/min | Temp °C | pH | TDS ppm | Conductivity ms/m | NO3 ppm | Fe ppm | Mn ppm | F ppm | Total hardness ppm | Chloride ppm | SO4 ppm | Coliform group.cfg. | | |
|-----|------|------------|-------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------|-------------|---------|------|---------|-------------------|---------|--------|--------|-------|--------------------|--------------|---------|---------------------|---------------|------------|
| | 郡 | セクタール | セル | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | Bugarama | Gihuta | Spring Ntende | -01 42' 52.7" | 30 24' 34.5" | 1,355 | 52.9 | 23.9 | 5.9 | 277 | 56.5 | 10< | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 50 | 150 | 0 | | |
| 2 | | Gasange | Bibare | Gasigati | -01 46' 47.98" | 30 18' 45.93" | 1,594 | | 24.6 | 4.6 | 380 | 79.4 | 5 | 0.2> | 0.5> | 0 | 0 | 30 | 100> | 0 | Detect little | |
| 3 | | | Kigabiro | HP | -01 48' 15.16" | 30 18' 37.28" | 1,502 | | 24.1 | 5.9 | 265 | 52.7 | 2 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 4 | | | Kabarore | HP | -01 37' 07.1" | 30 23' 11.7" | 1,471 | | 25.5 | 6.6 | 42 | 8.4 | 1 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 5 | | | Kabeza | HP | -01 36' 44.0" | 30 23' 52.6" | 1,474 | | 25 | 6.4 | 80 | 16.4 | 4 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 6 | | | Marimba | HP | -01 36' 17.5" | 30 19' 14.2" | 1,411 | | 26.1 | 7.1 | 156 | 30.9 | 1> | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 100 | 100> | 0 | | |
| 7 | | | Nyabikiri | HP | -01 36' 09.4" | 30 25' 25.7" | 1,467 | | 24.2 | 6.2 | 41 | 8.5 | 1 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 8 | | | Simbwa | HP | -01 32' 44.0" | 30 21' 26.2" | 1,380 | | 26.6 | 6.8 | 131 | 25.8 | 2 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 50 | 100> | 0 | | |
| 9 | | Kageyo | | Kananga | -01 39' 30.71" | 30 15' 58.95" | 1,676 | 26 | 20.7 | 5.24 | | 19.39 | 10 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 10 | | Kiramuruzi | | Gakenke | -01 48' 05.58" | 30 25' 48.58" | 1,466 | | 22.8 | 6.3 | 257 | 51.2 | 5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 11 | ガツイボ | | | Kagina | -01 47' 11.50" | 30 26' 39.37" | 1,485 | 70 | 22.9 | 5.8 | 286 | 58.2 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 30 | 100> | 0 | | |
| 12 | | | Matunguru | Matungiro | -01 40' 32.3" | 30 27' 50.5" | 1,338 | | 25.6 | 7.1 | 574 | 115.2 | 1> | 0.5 | 0 | 3 | 100 | 200< | 0 | | | |
| 13 | | | | Rambura | HP | -01 40' 13.3" | 30 27' 07.9" | 1,349 | | 26.6 | 7 | 26 | 5.3 | 0.3 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | |
| 14 | | | Mufura | | Kibir-Mpaza | -01 43' 20.60" | 30 15' 19.80" | 1,616 | 83.1 | 20.8 | 5.61 | | 32.2 | 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 100> | 0 | |
| 15 | | | Muranbi | Muranbi | Byimana | -01 47' 31.21" | 30 20' 59.43" | 1,499 | | 24.4 | 5.9 | 306 | 61.5 | 10 | 0.2> | 0.5> | 0 | 0 | 40 | 100> | 0 | |
| 16 | | | | Kibari | Gashure | -01 32' 45.40" | 30 11' 42.80" | 1,639 | 41 | 21.3 | 5.19 | | 29.4 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 100> | 0.1 | Not detect |
| 17 | | | Nyagihanga | | Rwobe-1 | -01 36' 00.46" | 30 11' 25.39" | 1,775 | 53.4 | 20.3 | 5.07 | | 6.05 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | Not detect |
| 18 | | | Rugarama | Gihuta | Spring Kanyangese | -01 41' 11.0" | 30 24' 31.1" | 1,364 | | 24 | 6.6 | 311 | 61.6 | 45< | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 30 | 100-150 | 0 | |
| 19 | | | | | Matunguru Rutindo | -01 40' 44.7" | 30 26' 42.0" | 1,351 | | 25.7 | 7 | 91 | 18.1 | 0.2> | 0.3 | 0 | 0 | 0 | 30 | 100> | 0 | |
| 20 | | | | | Rwakinro | -01 38' 48.5" | 30 27' 24.4" | 1,384 | | 25 | 6.6 | 98 | 19.6 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | |
| 21 | | | Rwimbogo | Kiburara | HP | -01 39' 55.3" | 30 24' 39.41" | 1,406 | | 24.3 | 6.8 | 294 | 58.7 | 1 | 0.2> | 0.5> | 0 | 0 | 70 | 150 | 0 | |
| 22 | | | | Kiburara | HP | -01 40' 04.65" | 30 24' 55.98" | 1,388 | | 24 | 6.9 | 287 | 57.6 | 10< | 0.2> | 0.5> | 0 | 0 | 60 | 100> | 0 | |
| 23 | | | Gahini | | Nyabombe | -01 49' 45.18" | 30 33' 25.96" | 1,456 | | 23.8 | 6 | 57 | 11.4 | 5 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | Not detect |
| 24 | | | | Gicaca | -02 05' 21.24" | 30 35' 10.32" | 1,400 | | 24.3 | 5.6 | | 30.7 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 100 | 100> | 0 | | |
| 25 | | | | Kabonobono | -02 03' 14.28" | 30 35' 47.76" | 1,450 | | 26.4 | 5.7 | | 24.2 | 2 | 0.2> | 0 | 0.4 | 75 | 100> | 0 | | | |
| 26 | | | Karambi | Gisagara | -01 43' 09.62" | 30 28' 02.95" | 1,374 | 20 | 24.5 | 5.8 | 40 | 7.9 | 5 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | Not detect | |
| 27 | | Murundi | Rukara | Ryakiramba | -01 48' 08.71" | 30 30' 50.16" | 1,482 | 20 | 24.3 | 6 | 50 | 10 | 2 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 28 | | | Ryamanyori | Nyamga | -01 45' 00.59" | 30 30' 05.06" | 1,389 | 15 | 28 | 5.9 | 64 | 16.7 | 3 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | Not detect | |
| 29 | | | Rugeza | Ryugeza I | -01 54' 25.93" | 30 33' 35.75" | 1,469 | 26 | 23.9 | 6 | 51 | 10.2 | 3 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 30 | | Mwiri | | HP-Rbonobono I | -01 53' 32.18" | 30 33' 42.72" | 1,485 | | 25 | 6.5 | 89 | 18.7 | 10 | 0.5 | 0.5> | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 31 | | | | HP | -01 54' 31.44" | 30 40' 45.72" | 1,330 | | 22.1 | 6.2 | | 23.2 | 1 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 75 | 100> | 0 | | |
| 32 | | Kabarondo | | Mubugazire | -02 00' 51.18" | 30 32' 43.98" | 1,420 | | 23.3 | 5.3 | | 21.3 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 50 | 100> | 0 | Not detect | |
| 33 | | | Rugarama | Cyatokue | -01 49' 44.97" | 30 30' 26.30" | 1,471 | | 25 | 5.9 | 55 | 11.4 | 2 | 0.2> | 0.5> | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | Not detect | |
| 34 | | | | Nyakariba | -01 47' 31.58" | 30 29' 30.81" | 1,503 | 8 | 24.1 | 6.1 | 122 | 24.5 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 35 | | | | HP | -01 48' 50.54" | 30 26' 39.21" | 1,459 | | 24.3 | 6.2 | 364 | 76.4 | 5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 36 | | | Bugambira | Rwanyakajyugo | -02 00' 32.11" | 30 29' 09.35" | 1,363 | 41 | 22.5 | 5.5 | 134 | 26.9 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 37 | | | Kabukara | Karaso | -01 59' 28.04" | 30 29' 43.43" | 1,444 | 11 | 22 | 5.7 | 129 | 25.8 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 38 | カヨンザ | | Nkamba | Rwanyakagobo | -02 00' 14.13" | 30 28' 48.04" | 1,367 | 15 | 23.8 | 5.1 | 138 | 37.5 | 10 | 0.2> | 0.5> | 0 | 0 | 15 | 100> | 0 | | |
| 39 | | | Ruramira | Ruyonza | Gitoki | -01 59' 28.30" | 30 31' 18.79" | 1,478 | 95 | 22.5 | 5.7 | 135 | 27 | 10 | 0.2> | 0.5> | 0 | 0 | 30 | 100> | 0 | |
| 40 | | | | Umubuga | Akabuye | -02 00' 50.69" | 30 30' 41.92" | 1,377 | 30 | 22.4 | 5.4 | 159 | 31.8 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | |
| 41 | | | | | Gatore | -01 58' 37.73" | 30 31' 29.03" | 1,507 | 32 | 24 | 5.3 | 134 | 27 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | |
| 42 | | | | | Rutaka | -02 00' 23.12" | 30 29' 38.48" | 1,399 | 27 | 23 | 5.6 | 145 | 24.5 | 6 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | |
| 43 | | | | | HP-Kiyapani-Karambo | -01 59' 41.13" | 30 28' 29.54" | 1,379 | | 23.4 | 5.9 | 209 | 42 | 2 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | |
| 44 | | | | | HP | -01 57' 39.24" | 30 35' 22.38" | 1,370 | | 27.1 | 5.2 | | 27.3 | 0.5 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 100 | 100> | 0 | |
| 45 | | | | Rwinkwavu | Spring | -01 59' 17.64" | 30 34' 47.22" | 1,380 | | 28.5 | 5.6 | | 33.5 | 2 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 100 | 100> | 0 | |
| 46 | | | | | HP | -01 59' 31.44" | 30 34' 09.24" | 1,440 | | 21.9 | 5.6 | | 26 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 100 | 100> | 0 | |
| 47 | | | Gahini | Juru | HP | -01 49' 47.2" | 30 33' 17.5" | 1,466 | | 24.8 | 6.5 | 72 | 13.9 | 1> | 0.3 | 0 | 0 | 0 | 30 | 100> | 0 | |
| 48 | | | Karambi | HP | -01 41' 52.03" | 30 27' 54.58" | 1,364 | | 24 | 6.9 | 84 | 16.9 | 0.2 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 49 | | | Karambi Nyamirama | HP | -01 42' 46.6" | 30 28' 45.9" | 1,355 | | 25.7 | 7.2 | 93 | 18.5 | 1 | 0.2> | 0 | 1 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 50 | | | Karambi Rugunga | HP | -01 42' 04.6" | 30 29' 03.5" | 1,332 | | 24.7 | 7.6 | 165 | 34 | 1> | 0.2> | 0 | 3 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 51 | | | Ryamanyoni | HP | -01 44' 11.1" | 30 30' 09.6" | 1,347 | | 23.9 | 6.7 | 83 | 17 | 1 | 0.2> | 0 | 0.4 | 0 | 10 | 100> | 0 | | |
| 52 | | | Kageyo | HP | -01 52' 40.0" | 30 38' 05.8" | 1,336 | | 24.3 | 6.7 | 214 | 43.2 | 1> | 0.5 | 0 | 3 | 0 | 20 | 100> | 0 | | |
| 53 | | | Kageyo | HP | -01 51' 13.6" | 30 38' 55.0" | 1,317 | | 27.9 | 10 | 219 | 44 | 1> | 0.2 | 0 | 3 | 0 | 10 | 150 | 0.2 | | |
| 54 | | | Gatore | HP | -02 17' 16.32" | 30 33' 57.86" | 1,340 | | 23.3 | 5.7 | | 41.3 | 1 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 75 | 100> | 0 | | |
| 55 | キレヘ | | Kirehe | River | -02 17' 19.14" | 30 39' 28.80" | 1,410 | | 24.1 | 5.6 | | 16.4 | 1 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 56 | | | | Spring | -02 15' 51.18" | 30 38' 06.06" | 1,500 | | 25.5 | 5.6 | | 24 | 1 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 57 | | Gashanda | Mutsindo | Kwamuhire | -02 08' 32.26" | 30 30' 21.05" | 1,394 | 43.5 | 22.3 | 6.3 | 58 | 11.6 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | Not detect | |
| 58 | | | Kazo | Nyamuhinali | -02 11' 42.12" | 30 30' 46.62" | 1,500 | | 24 | 6.8 | | 16.5 | 2 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 50 | 100> | 0 | | |
| 59 | | | kibungo | Karama | Rwasaburo | -02 09' 10.61" | 30 31' 53.04" | 1,446 | | 21.2 | 5.9 | 66 | 13.2 | 10 | 0.2> | 0 | 0 | 0 | 10 | 100> | 0 | Not detect |
| 60 | | | Murama | Mvumba | HP | -02 11' 48.53" | 30 33' 50.74" | 1,377 | | 22.5 | 6.6 | 194 | 38.8 | 0.5 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 50 | 100> | 0 | Not detect |
| 61 | ンゴマ | | Rukira | Kibatsi | Gasovo | -02 07' 18.66" | 30 39' 04.62" | | | | | | | | | | | | | | | |

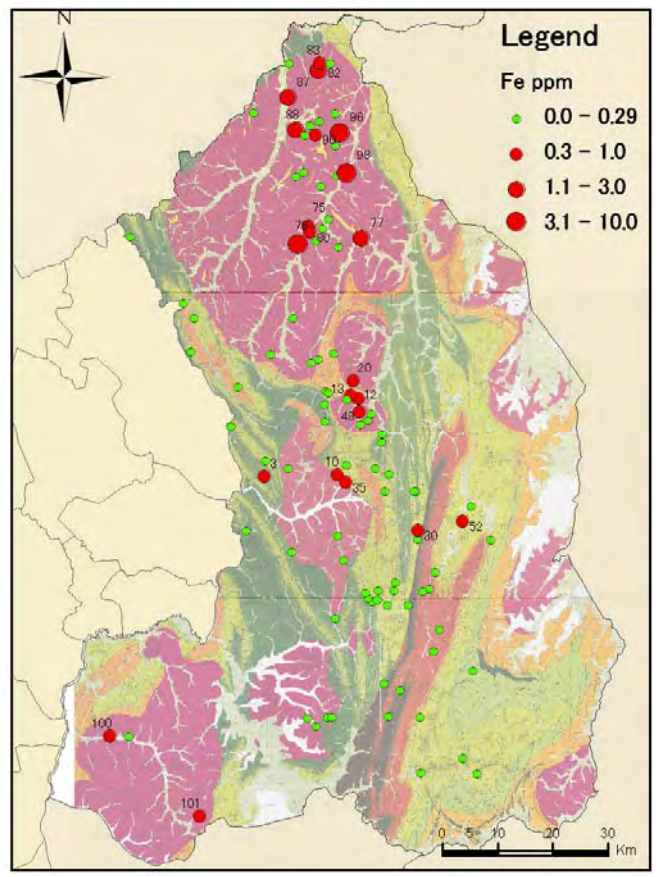
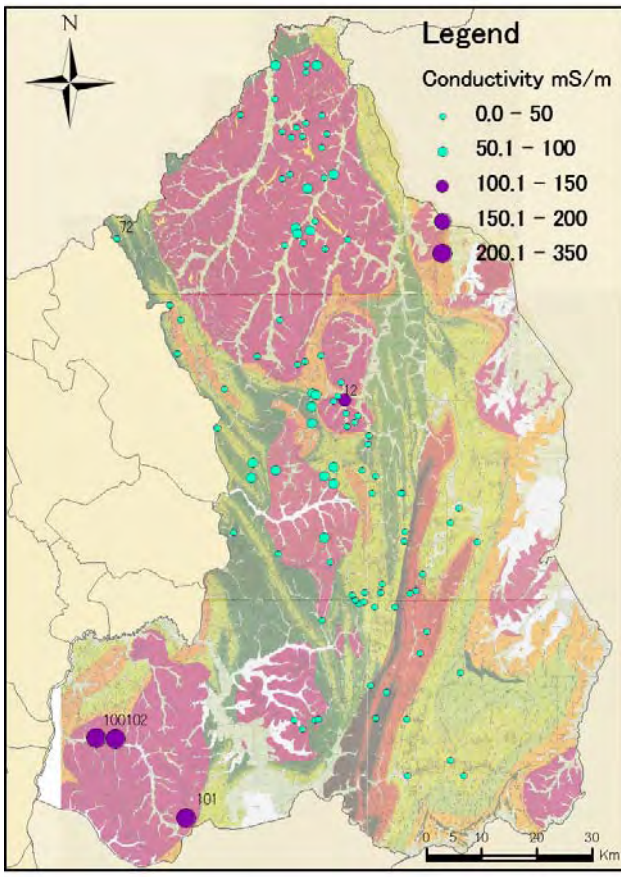
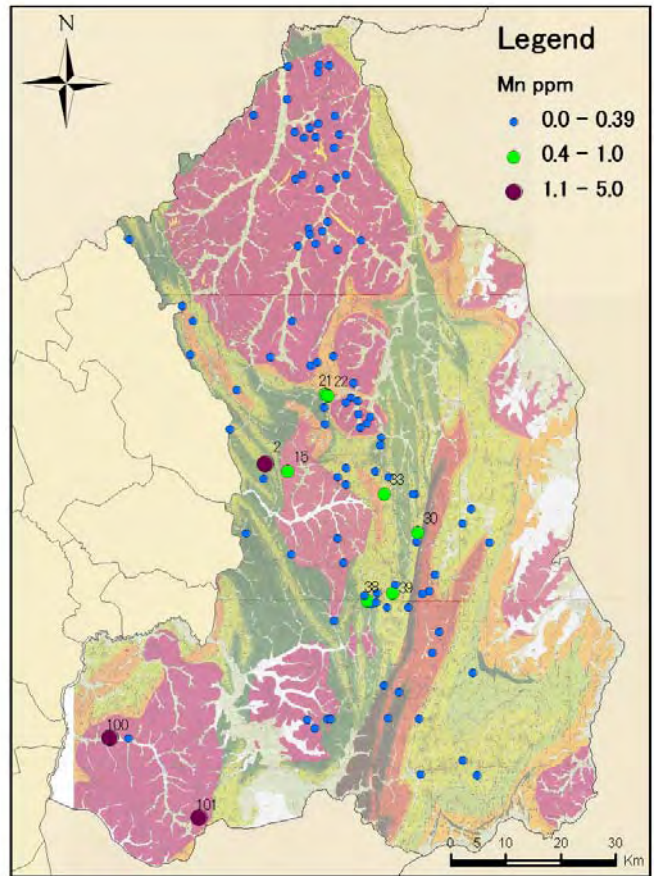
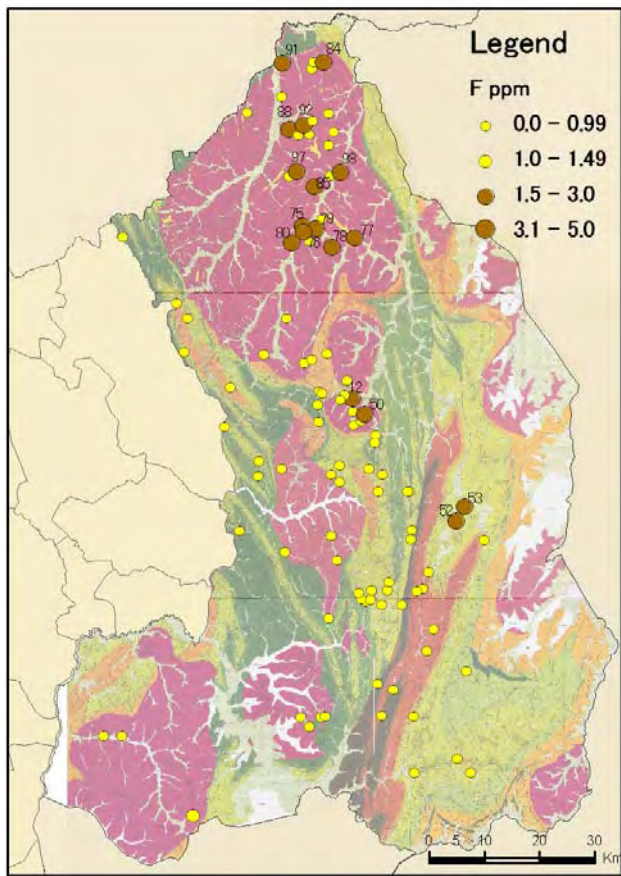


図 S3-21 水質分布図 (フッ素、マンガン、電気伝導度、鉄分)

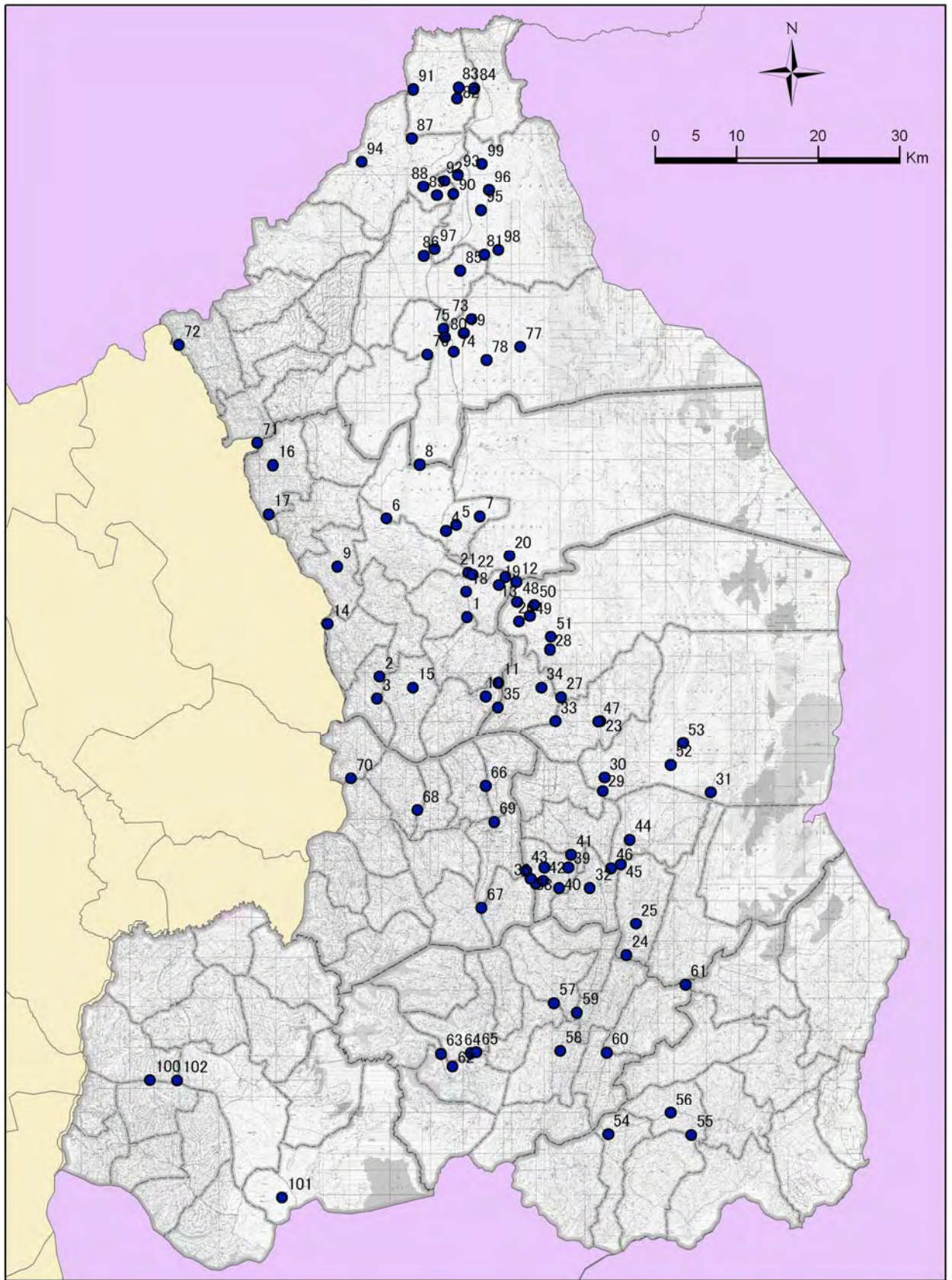


図 S3-22 水質サンプリング位置図

S3.5 物理探査の結果

物理探査の実施は、第一次現地調査及び第二次現地調査でそれぞれ探査目的と方法を変えておこなった。第一次現地調査では、地下水の発達状況の良い谷筋に分布した沖積層の厚さと基盤までの深さを把握することを目的に、垂直電気探査を実施した。一方、第二次現地調査での物理探査は、配管による給水が困難な地区に、新規井戸の掘さく候補地点選定のために、電磁波探査と垂直探査を実施した。

それぞれ調査の実施時期は、第一次現地調査：2009年1月から2月、第二次現地調査：2009年7月から8月である。

S3.5.1 第一次現地調査

(1) 探査方法

調査対象地域（東部県）内で、既に管路系給水施設でカバーされ将来も同施設の拡張や管路系が有利な地域のルワマガナ、ブグセラ郡を電気探査対象地域から除いた。残りのニヤガタレ郡、ガツイボ郡、カヨンザ郡、キレヘ郡の4郡で、地下水取水の可能性が高い谷沿いの沖積層が分布する地域で、18セクトール、84サイトを抽出し電気探査を行った。電極配置は、探査深度が100mと比較的浅いこと、また電気探査結果を直視法でも解析できるウェンナー法を採用した。

以下に電気探査仕様を記述する。

- 1) 探査機器：ABEM SAS 300 Terrameter



- 2) 電極配置：ウェンナー4極法、探査深度100m

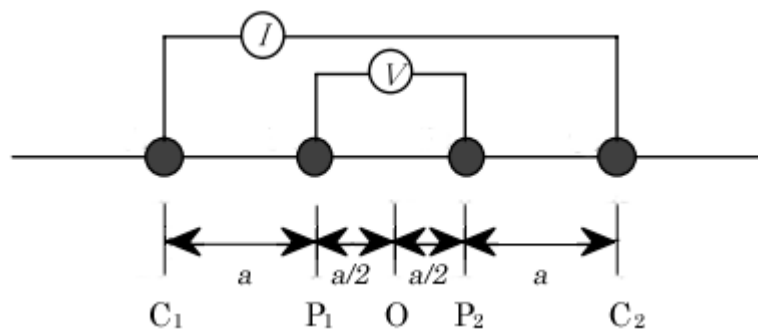


図 S3-23 電極配置模式図

(2) 探査結果

事前に入手した地質図及び、現地水理地質踏査結果から大きく以下の4地質、①表土 ②堆積層（谷間部分の崖錐堆積物、沖積堆積物）③風化層及び④基盤岩類（花崗岩/珪岩/片岩/千枚岩/砂岩）が今回の探査サイトに分布すると予想された。電気探査結果から、比抵抗値の特性は以下のように要約できる。

- ① 表土は、地表面の乾燥状態にもよるが、一般に 100Ωm 以下を示す。
- ② 堆積層と風化層の区別は明瞭に現れないが、50～200Ωm の間にあり、この中でも低い比抵抗値を示す所が沖積、高い比抵抗値を示すのが風化層と推定できる。
- ③ 珪岩/花崗岩における電気探査結果は、深度に比例して抵抗値は急激に高まる傾向にある、片岩/千枚岩層では、表層の粘土質風化物の影響で浅い深度では低い抵抗値を示し、深度が深まるにつれ抵抗値は高くなる傾向を示すが、ある深度を超えると抵抗値は安定する。

基盤岩までの平均深さは 45m 風化帯までの深さが 24.7m で、風化帯の厚さは平均 21.9m、沖積層は平均 22.8m の層厚で、表土が平均 1.8m で覆っている。帯水層として期待できるのは基盤岩直上の風化帯と推定される。

探査結果の解析において、各層の構成物の判定は、表 S3-14 に示す抵抗値を基準にした。

表 S3-14 構成物別電気抵抗値

| 岩石 | 比抵抗値(ohm-m) | 岩石 | 比抵抗値(ohm-m) |
|-------|-------------|-----------|--------------|
| 粘土層 | 5 - 100 | 珪岩 | 60 - 10000 |
| 砂層（乾） | 100 - 5000 | 石灰岩 | 300 - 50000 |
| 砂層（湿） | 40 - 100 | 千枚岩 / 片岩 | 10 - 500 |
| 礫層 | 90 - 5000 | 花崗岩 / 片麻岩 | 1000 - 10000 |
| 砂岩 | 35 - 4000 | 風化花崗岩 | 50 - 300 |

出典： Electric resistivities (Parasnis 1997, and others)

電気探査位置図は図 S3-24 に示し、探査の結果を比抵抗値解析断面図として図 S3-25/26 に、 ρ -a 曲線集をデータブックに示す。

また、電気探査位置と既存井戸位置（ハンドポンプ）を地質図上に示し（図 S3-27）、北西から南東方向の想定地質断面図を図 S3-28 に示す。この断面図及び比抵抗値の解析から、沖積層及び風化帯の分布深度は地表から 10m から 90m の間にあり、平均深度は 45m である。

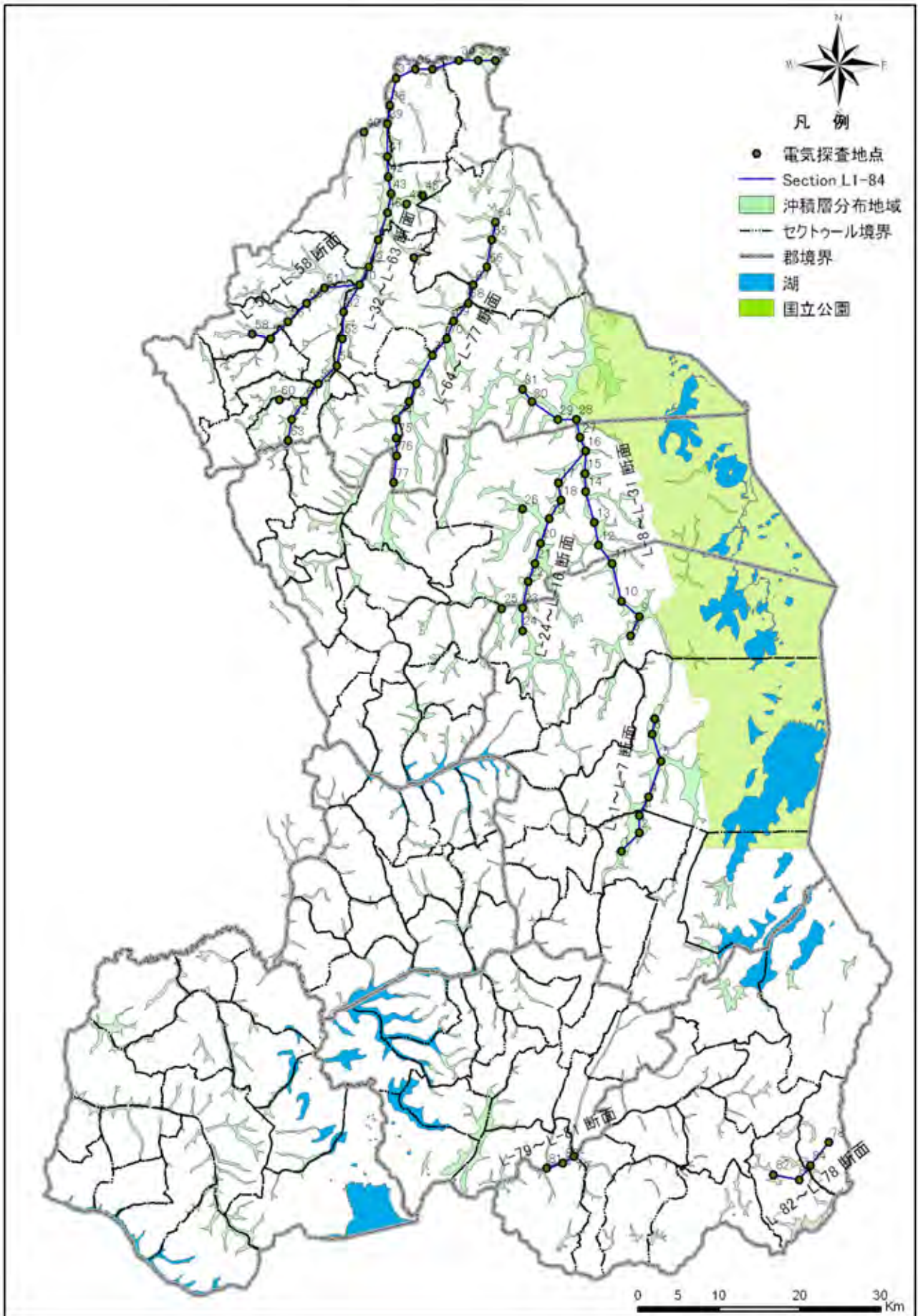


図 S3-24 電気探査位置図