

3.3 現地調査結果

3.3.1 地質・水理地質調査

(1) 調査目的および調査方法

本項目は、調査対象地域の地形・地質状況を確認し、その特性を把握することを目的とした。なお、堆積層の露頭は極めて限られているため、地形・地質踏査は基盤岩地域を中心に実施した。本項調査の手順は、以下のとおりである。

現地調査実施前

- ① 地形特性の把握（前節参照）
- ② 既存揚水施設の位置の把握
- ③ 既存地質図（1/20万）を基にした現地調査対象地域の選定

現地調査

- ① 地形的特徴のある地点
- ② 露岩する代表的な地質の観察
- ③ 地形・地質的特徴をもつ地点に存在する既存揚水施設の見学とその周辺の地質の観察

(2) 調査結果

本調査結果の詳細はサポーティングブック（第5.2節）に掲載し、ここでは概要を記す。現地踏査は、以下の地形・地質特性を持つ既存施設を対象に実施した。

- ・ ギニア国境の急崖下部
- ・ 玄武岩類が分布する丘陵下部
- ・ 片岩分布域
- ・ 片岩分布域（珪岩との断層近傍）
- ・ 珪岩分布域（片岩との断層近傍）
- ・ 花崗岩中の断層近傍
- ・ 石英脈分布域
- ・ カンブリア紀砂岩分布域

調査結果の概要を表3-3-1にとりまとめる。また、各地点の検討の際に作成した地形・地質状況図の例を図3-3-1に示す。これらの結果は、特に基盤岩地域の岩種毎の地下水ポテンシャルを検討する際の基礎資料とした。

表 3-3-1 基盤岩地域の既存施設と水理地質

村落名	地形	1/20 地質図	地質構造	帯水層	主要な井戸の諸元					
					掘削深度 井戸深度	スクリー ン位置	静水位	揚水量	水位 降下	水質
Segou	ギニア境界 の急崖下	花崗岩	—	片岩 (Birrimien) 礫岩 (Birrimien) 断層・破碎帯	40,5m 40,5m	29,1~ 40,5m	16,1m	10m ³ /h	6,6m	
Dindéfello	ギニア境界 の急崖下	花崗岩	—	花崗岩 断層・破碎帯	58,4m 56,9m	32,3~ 56,9m	6,8m	10m ³ /h	35,6m	
Ibel	玄武岩丘 陵の麓	玄武岩類他	—	片岩 断層・破碎帯	37,6m 35,8m	11,2~ 35,8m	7,1m	30m ³ /h	9,6m	

村落名	地形	1/20 地質図	地質構造	帯水層	主要な井戸の諸元					
					掘削深度 井戸深度	スクリー ン位置	静水位	揚水量	水位 降下	水質
Salemata	周囲が小丘陵	片岩類	—	結晶片岩、石英脈	88,15m 70,15m	28,15~ 64,15m	6,15m	9m ³ /h	19,8m	
Ebarak	—	片岩・珪岩・砂岩の境界	近傍に断層	珪岩 (Paleozoq.) 断層・破碎帯	49,0m 48,7m	14,6~ 48,7m	6,6m	4,3m ³ /h	6,1m	鉄 (5,0mg/l)
Banfarato	—	珪岩・片岩の境界	近傍に断層	泥質岩 断層・破碎帯	45,0m 45,0m	27,9~ 45,0m	5,0m	1,4m ³ /h	12,6m	
Bandioula	—	花崗岩	断層	斑レイ岩?	45,1m 40,25m	—	7,28m	19,5m ³ /h	1m	
Kondokhou	—	花崗岩	断層	花崗岩 断層・破碎帯	45,0m 45,0m	16,4~ 45,0m	11,1m	5,4m ³ /h	19,5m	鉄 (5,0mg/l 以上)
Daloto	—	片岩、珪岩、グレイワック、礫岩他	石英脈	片岩 (Birrimien) 断層・破碎帯	45,1m 45,0m	37,8~ 45,0m	22,6m	12m ³ /h	10,6m	鉄 (3,5mg/l)
Bellé	小丘陵間	珪質砂岩	近傍に断層	珪岩 (Cambrian) 断層・破碎帯	58,6m 58,6m	30,0~ 58,6m	23,1m	3,5m ³ /h	—	

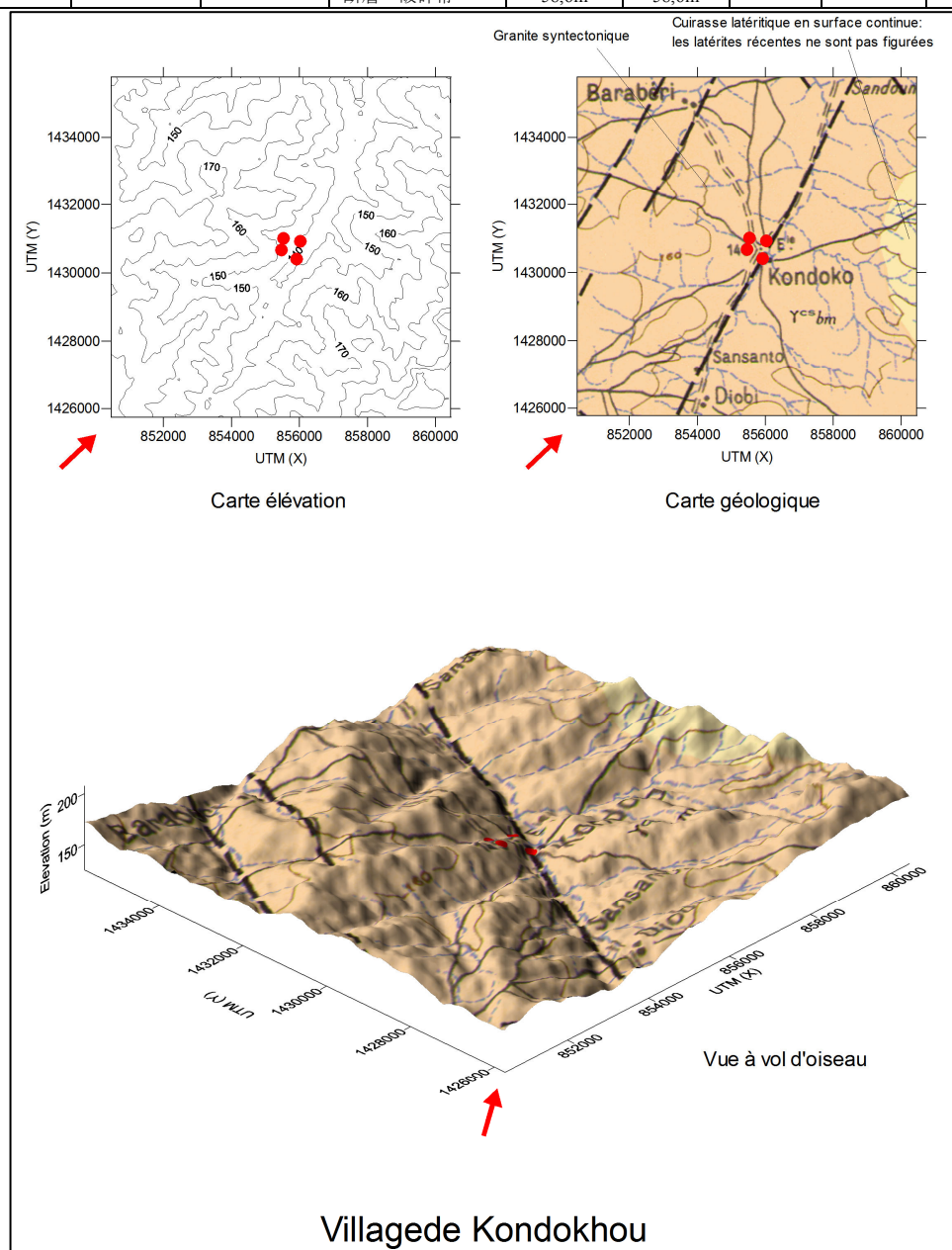


図 3-3-1 地形・地質と水源位置の例 (Kondokhou 村)

3.3.2 試掘調査

(1) 調査の目的と選定位置の理由

本調査では、水資源ポテンシャルの確認を主目的とするが、二次的目的も考慮して掘さく位置を選定した。

1) 基盤岩中の地質の変化

基盤岩の地質変化、亀裂の頻度を確認するために調査を実施する。通常、基盤岩地帯では掘さく効率が下がるため、「セ」国の慣習では深度 80m 程度で掘止めてしまうが、本調査では二次的目的に従って掘削深度を 150m 程度とした。

2) 基盤岩上の沖積層の確認

川沿いの複数の村落では沖積層の伏流水を利用している。しかし、川からの距離、沖積層厚や基盤岩の風化状況などの地形・地質条件での伏流水分布に関する既存資料はない。セネガル川沿いには同様な地質構造に立地する村落が多数あるため、今後の伏流水利用を想定した基礎資料収集を目的として実施した。

3) 地質構造の確認

地質構造は既存データや物理探査データで確認できる。ただし、既存資料によれば、境界地域の地質構造は非常に複雑であることが判明しているため、構造モデルの精度を向上させるため、井戸間距離が開いたところや地質構造変化のある中間地点等を選定した。

表 3-3-2 試掘調査位置と選定理由

井戸番号	CR	村落名	緯度(度)	経度(度)	水資源ポテンシャル把握以外の選定理由
TM1	Goudiry	AinouMahdi	14,2611	-12,5422	地質構造の確認
TM2	Commune	Diawara1	15,0149	-12,5360	基盤岩上の沖積層の確認
TM3	Moudery	Gande	15,1016	-12,6602	基盤岩上の沖積層の確認
TM4	Commune	Diawara2	15,0212	-12,5337	基盤岩上の沖積層の確認
TM5	Bokiladji	GangelMaka	14,9498	-12,7356	基盤岩中の地質変化
TM6	Sinthou Fissa	YariMale	14,2575	-12,4579	基盤岩中の地質変化
TM7	Shinthou Fissa	Takoutara	14,1534	-12,2395	基盤岩中の地質変化
TM8	Khossanto	Khossanto	13,1343	-11,9646	基盤岩中の地質変化
TM9	Missirah	Medina Diakha	13,3884	-13,4763	地質構造の確認
TM10	Bani Israel	Diana	13,5454	-12,8628	地質構造の確認
TM11	Aoure	Tiendiel Demba Djibi	14,7082	-12,7099	地質構造の確認
TM12	Dougue	Soutouta	13,8053	-12,7172	地質構造の確認
TM13	Goudiry	Dinde Daka	14,2749	-12,6068	地質構造の確認

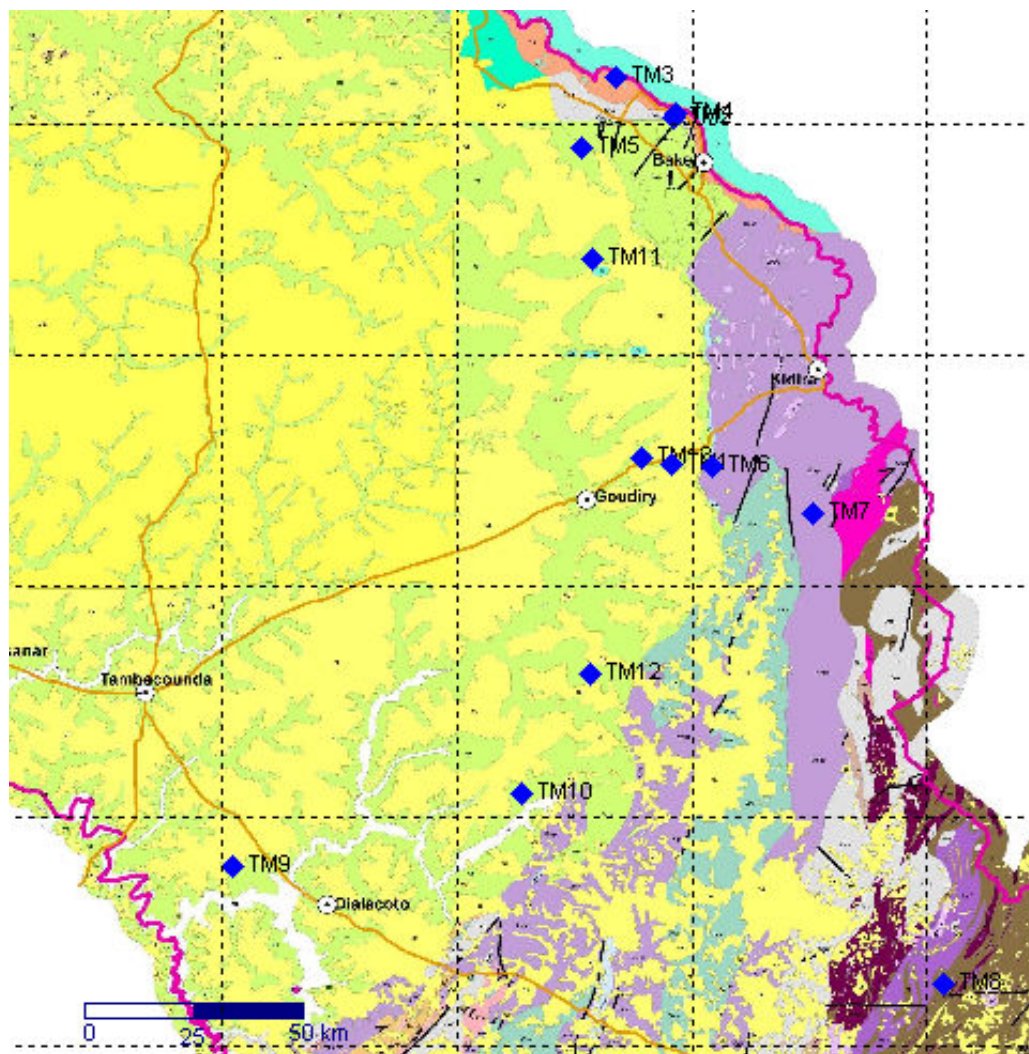


図 3-3-2 試掘地点

4) 選定地域の水理地質概要

境界地域の堆積岩地は対象地域の西部をはじめ「セ」国の大部分の地域では、Co層の砂・粘度層、Pa (Eo) 層の石灰岩・泥灰岩、Ma層と砂・粘度層と掘さく片で明確に判別できる。一方この境界地域では、各層の厚みが薄くなり、各層を構成する砂・粘度なども明確な差異がなくなっているのが特徴である。基盤岩地域の選定地は標高差が30m以上ある地塁が直線状に延び、地塁間の谷部が埋設されたような（実際は埋設ではない）平坦な地形となっている。

(2) 試掘仕様

試掘の仕様は下記の通りである。ケーシング径は設置されるポンプの外径によって決まる。堆積岩地域では30-50m³/hが標準の施設揚水量で内径8インチ以上のケーシング、基盤岩地域では揚水量が最大でも約20m³/hを超えるのは難しいため、内径6インチケーシングを利用している。掘さく口径は充填砂利の隙間を2インチ以上確保するための設定である。テレスコープも同様な理由で口径が決定されている。調査終了後は給水施設の井戸への転用を考慮し、この仕様に従った。

また、動水位と帯水層の深度差がなくポンプ設置に深度に制限が出ないようにテレスコープ工法は採用していない。掘止め深度は、基盤岩の掘さく片があがり、風化層も掘りぬけて掘進率が極度に低下を確認してから判断を下した。

揚水試験は、4段階各1時間の段階揚水試験と、12時間の連続揚水試験を行った。段階試験では洗浄度の確認目的と各損失係数を求め、連続試験は水理定数の計算と、水位変動の安定度の確認のために行った。

表 3-3-3 試掘仕様

対象	工法	予定深度	掘さく口径	ケーシング口径
基盤岩亀裂	MFT	150m	8 インチ	6 インチ PVC
堆積層	泥水 ロータリー	基盤の確認 (100 から 200m)	14 インチ	8 インチ PVC
		基盤の確認 450m	上 14-3/4 インチ 下 8-1/2 インチ	上 10 インチ PVC 下 4 インチ SUS

(3) 試掘結果

試掘調査結果や揚水試験で得られた水理定数を表 3-3-4、表 3-3-5 にそれぞれ示す。

表 3-3-4 試掘調査の結果

井戸 番号	CR	村落名	帯水層	掘削 深度 (m)	基盤 深度 (m)	仕上 深度 (m)	静水位 (m)	12H 連続揚水試験		
								揚水量 (m ³ /h)	水位 (m)	水位降 下(m)
TM1	Goudiry	AinouMahdi	Ma	72,0	64	70,8	49,3	44,0	53,4	4,1
TM2	Commune	Diawara1	沖積	25,0	12	22,3	2,9	3,4	14,9	13,0
TM3	Moudery	Gande	沖積	26,1	25	26,0	10,4	71,1	11,9	1,4
TM4	Commune	Diawara2	沖積	24,0	21,5	23,6	10,6	21,5	6,4	6,5
TM5	Bokiladji	GangelMaka	基盤	121,0	26	58,9	12,9	35,8	45,2	32,2
TM6	Sinthou Fissa	YariMale	基盤	151,0	18	86,6	46,7	1,5	82,6	36,0
TM7	Shinthou Fissa	Takoutara	基盤	98,0	5	82,1	9,84	13,3	3,4	3,6
TM8	Khossanto	Khossanto	基盤	150,0	9	92,2	8,1	8,1	71,0	62,8
TM9	Missirah	Medina Diakha	Ma	250,0	248	250,0	17,5	62,7	28,3	10,8
TM10	Bani Israel	Diana	Ma	91,0	60	81,6	18,4	15,5	44,7	26,3
TM11	Aoure	Tiendiel Demba Djibi	Ma	88,0	88	87,0	43,9	55,2	49,7	5,8
TM12	Dougue	Soutouta	Ma	61,0	61	60,2	13,7	66,0	10,8	10,8
TM13	Goudiry	Dinde Daka	Ma	84	84	81	34,5	62,8	36,1	1,6

透水量係数は4種の方法で求めた。各解析結果では桁オーダーの差異がある。これは解析方法の差異によるものである。差異の原因としては、揚水量の計量法の誤差があることに加え、曲線マッチング法であるタイス法はマッチング位置により値が異なること、クーパー・ヤコブ法は必ずしも水位降下と時間の関係が線形にならないため計算区間の取り方により値がことなること、Logan 法は比湧出量の $(1.22)^{-1}$ としているため、流量依存となる。このような解析方法の特徴に起因する。

表 3-3-5 水理定数一覧

井戸番号	村落名	スクリーン長 (m)	比湧出量 (m ³ /h/m)	透水量係数 (m ² hm)				貯留係数
				タイス法	クーバー・ヤコブ法	回復法	Logan(1964)	タイス法
TM1	Ainou Mahdy	9,62	10,68	28,89	58,85	58,66	13,03	1,52E-11
TM2	Diawara 1	6,52	0,25	0,21	0,08	0,06	0,31	4,66E-03
TM3	Gande	5,72	50,00	134,46	345,93	379,74	61,00	2,16E-10
TM4	Diawara 2	6,71	3,44	7,01	2,02	6,61	4,20	3,45E-08
TM5	Ganguel Maka	22,91	1,27	0,52	0,50	0,46	1,56	5,00E+00
TM6	Yerimale	10,74	0,04	0,02	0,01	0,01	0,04	2,70E-02
TM7	Takoura	22,88	3,73	2,89	2,41	2,62	4,56	5,03E-01
TM8	Khossanto	11,46	0,03	0,05	0,04	0,01	0,04	2,69E-02
TM9	Medina Diakha	18,95	5,81	16,27	17,40	12,44	7,09	6,63E-11
TM10	Diana	17,13	0,21	1,44	0,19	4,81	0,26	6,04E-12
TM11	Thiengolele	12,34	2,60	22,97	17,25	16,19	3,18	5,89E-09
TM12	Soutouta	17,13	6,09	12,38	9,30	11,78	7,43	1,06E-07
TM13	Dindoudi Doka	11,36	39,23	104,54	115,69	93,75	47,87	2,03E-11

1) 基盤岩地域と堆積岩地域との境界地域における水資源開発について

基盤岩地域と堆積岩地域との境界地域（Bakel 南部：TM11、Goudiry 東部：TM1 と TM13、Goudiry 東南部：TM12、Goudiry 南部：TM10）の 5 地点で試掘調査を行った。各地点は、基盤岩の露頭分布境界線から 5～10km 程度離れている堆積層側の地域に位置する。

調査の結果、基盤岩の深度は 60m～88m で、基盤岩上には堆積した良質な砂層があり、比湧出量は 1 m³/h/m-22 m³/h/m と判明した。静水位から基盤岩深度までの深度差が小さいため、ポンプ設置深度に注意して揚水量を設定する必要がある。

よって、TM10 以外の基盤岩地域と堆積岩地域との境界地域の水源を利用して、水源開発の困難な基盤岩地域に送水する給水施設の建設が実現可能であると言える。TM10 DIANA では 60-88m の区間 28m は風化層であったと思われる。（泥水掘さく工法で堆積層と風化非常に進行した層の判別は掘進率に変化がないため明確に判断するには難しい）。

2) ガンビア川沿いから基盤岩地域にかけての堆積層地域の構造について

既存井戸の報告書に記載されている透水係数や Ma 層の深度にはバラつきがあり整合性が認められない。そのため、Ma 層の有無の確認、およびその下の基盤岩の深度を確認する必要がある。TM9 の試掘位置はデータ空白地域を選定した。

調査の結果、基盤岩の深度は当初想定していた深度 450 m よりも約 200m 浅く、この村より 15km 西側の世銀の試掘井戸 KOARII では基盤深度は 250m 以上あることが確認されているため基盤深度が西に向かって急激に深くなっていることが分かる。基盤岩を被覆していた砂層は Ma 層の典型的な指標である白粒の粗砂（1-3mm）であった。このことから、周辺井戸の過去の掘さく記録に記述のあった Ma 層の分布は正確であることが判明した。

Ma 層の分布データは、周辺地域で新たな水源開発において帯水層深度予想に活用できる。

(3) 基盤岩地域における掘さく深度の設定について

1) 掘さく深度と揚水量の関係について

TM5 Ganguel Maka や TM7 Takoutara では、40m～50m の深度で亀裂帯が確認された場合、さらに深部でも亀裂が存在し、揚水量は 10m³/h を越えた。一方、最初の亀裂が 70～80m の深度で確認される場合は、さらに深い深度で 2 番目の亀裂を確認する事が出来なかった。

基盤岩地域では大規模揚水量の生産井は想定していないことから、ハンドポンプ揚水が可能な揚水量が得られれば掘止めるため、掘削深度は最大でも 80m 程度とするのが一般的である。しかし、さらに深い深度 (80～140m) の亀裂も狙って掘さくすれば、大揚水量を得る可能性もあると判明した。

2) 掘さく深度が 100m を超える MFT 工法の問題点について

井戸深度が 100m を越えると、岩盤硬度が高くなっていることや水圧増加に対してコンプレッサーの容量不足が考えられる。このため、掘さく速度は極端に遅くなり、燃料消費が増大しコストが格段に上がる。大揚水量を得る等の目的がなければ、計画掘さく深度は 100m を目安に設定するのが効率的である。

また、上記問題点の対策として、掘さく口径を下げた裸孔仕上げとする方法も考えられるが、基盤岩の亀裂といっても亀裂沿いの風化が進行している場合もあるため、ケーシング・スクリーン設置を想定した方がよい。

(4) 基盤岩地域での電気探査結果と湧出量の関係について

湧出量の大きい 2 井戸 (TM5 GangelMaka と TM7 Takutara) の電気探査結果から、比抵抗構造の顕著な乱れやコントラストを示しおらず、帯水層の分布を予想できなかった。また、反対に TM8 Khossanto では比抵抗構造から大きな湧出量を期待したが、湧出量の小さい亀裂が 1 ヶ所あったのみである。このように基盤岩地域で電気探査から得られる比抵抗構造の変化に基づいて湧出量を想定することは難しいといえる。

(5) セネガル川沿いの沖積層分布について

1) 川からの距離と沖積層の厚みの関係

Diawara (左岸側) で試掘を実施した 2 地点は、雨季の満水時の水位が到達する河岸段丘から垂直方向距離 700m 離れた地点(TM2)と、河岸段丘直近の地点 (TM4) である。沖積層分布地域で生産井に仕上げるには沖積層の厚さをある程度確保する必要があるが、川から離れた TM2 では、沖積層の厚みは地表から 12m しかなく十分ではなかった。

今回の試掘結果から、セネガル川に近づくにつれて沖積層の厚みは増し、TM2 と TM4 の間 (距離 700m) では 7m の基盤深度差が確認された。また、静水位も 2,9m、10,6m と異なり、TM4 は川の水位と関係が切れている。

2) 旧河道との関係

電気探査結果から、頻繁に河道が変化し、その結果、基盤岩が広く深く侵食されて、厚い沖積 (河川堆積物) 層が堆積していると仮定した。しかし、仮定を裏付ける掘さく結果は得られず、旧河道と河道の間の基盤深度は川沿いより浅いことがわかった。

3) 沖積層の厚みの変化の方向

Gande は隣村の Galloude より下流に位置する村落で、試掘調査の結果、沖積層の厚みは、上流側の Galloude よりも 6m も薄かった。つまり、沖積層は西側に向かうにつれて単純に層厚が増す結果とはならなかった。基盤岩の深度は、浅くなったり、深くなったりしていると言える。典型的な例が Bakel の水源である。Bakel では基盤岩が露頭して小丘を形成しているが、セネガル川上流数 km の地点では基盤は地下 25m 深度となり、その上を河川堆積物が直接被覆している。この沖積層では Bakel の給水を賄えるほどの湧出量がある。

3.3.3 地下水位観測

(1) 調査目的および調査方法

地下水位観測の目的は以下のとおりであり、この観点から 2008 年 8 月および 11 月に地点選定を行なった。

- ・ 世銀プロジェクト（セネガル東部堆積層境界部水理地質調査）の観測地点を補完することにより本件調査地域の堆積層分布域の全体の地下水位（特に Ma 帯水層）の把握
- ・ 浅層地下水の地下水位と周辺河川水位との比較
- ・ 主要地点での地下水位の連続観測

調査方法は、サポーティングブック（第 5.5 節）に記すが、①11 井の浅井戸で携帯式水位計による毎週 1 回の観測、②9 井の深井戸で携帯式水位計による毎週 1 回の観測、③3 井の深井戸で自記水位計による連続観測、を実施した。

調査地点は、次の図表に示すとおりである（図 3-3-3、表 3-3-6）。

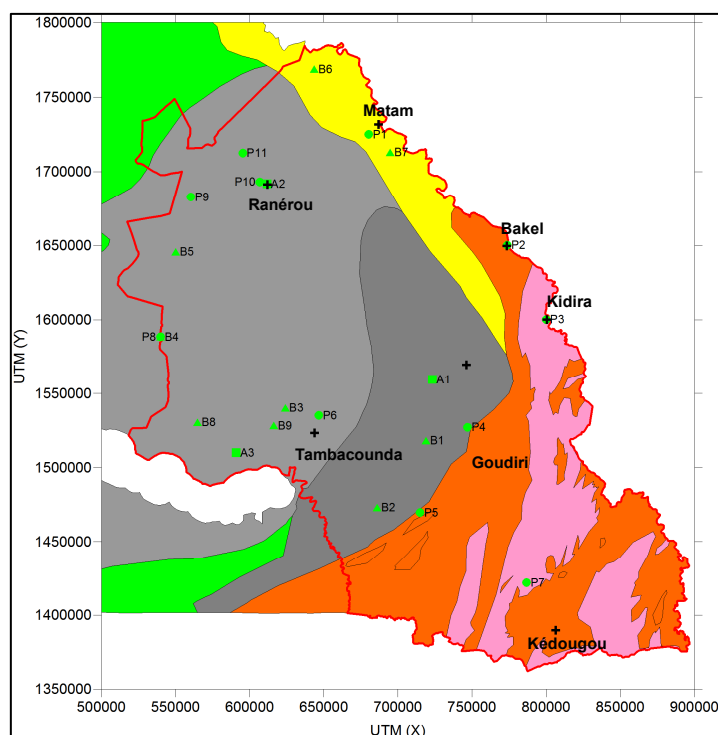


図 3-3-3 地下水位観測地点位置図

表 3-3-6 地下水位観測井座標

No.	村落名	ID_IRH	UTM (X)	UTM (Y)	標高 (m)
手掘り井戸					
P1	OURO SOGUI		680 306	1 725 123	17,950
P2	BAKEL		773 636	1 650 199	24,744
P3	KIDIRA		799 937	1 600 202	31,180
P4	SOUTOUTA		746 897	1 527 139	85,030
P5	MANSADALLA		714 886	1 469 637	30,714
P6	MàYéL DIBI		646 688	1 535 074	23,093
P7	MAKO		786 846	1 422 010	82,298
P8	DAROU MANA		539 832	1 588 413	28,141
P9	NAKAR		560 229	1 682 875	36,250
P10	BELE NDENDI		606 787	1 693 220	28,900
P11	VENDOU KATANE		595 269	1 712 572	48,410
ボアホール					
B1	BANTANANI	20-1X-0001	718 946	1 518 140	93,212
B2	DIALACOTO	19-9X-0001	685 975	1 473 132	41,364
B3	BOUDOR BORDOR		623 971	1 540 170	33,133
B4	DAROU MANA	13-5X-0004	539 832	1 588 413	59,138
B5	BELEL TOUFFLE	13-2X-0002	550 171	1 645 732	19,080
B6	AGNAM CIVOL	08-2X-0004	643 560	1 768 720	7,400
B7	KANEL F4	08-6X-0011	694 685	1 713 056	25,120
B8	DIAGLE SINE	18-2X-0005	564 878	1 530 462	77,229
B9	SINTHIOU MALEME	19-1X-0003	616 249	1 528 300	14,910
自記水位計設置井戸					
A1	BOYNGUEL BAMBA	15-7X-0001	723 111	1 559 478	74,892
A2	RANEROU		611 650	1 691 821	29,610
A3	FADIA KOUNDA	18-6X-0007	590 878	1 509 973	37,960

(2) 携帯式水位計による観測結果

携帯式水位計による観測結果は、データブックに示す。

本プロジェクトでは、地下水位観測を村民や稼働井のオペレータに委託して実施したが、観測精度はあまり高くない。その主な原因として、①観測時の水位計データの読み間違い、②生産井であり観測に適した井戸構造を有さない、等があげられる。また、表 3-3-7 に示すように浅井戸・深井戸ともに揚水量の多い井戸は、観測時間により地下水位の変動が生じている（測定は、ポンプ等の稼働前を基本としたが、観測者の都合により測定時間にばらつきが生じて、揚水が始まった後に測定したと推定されるデータが含まれる）。

表 3-3-7 観測時間による地下水位誤差の例

P4 SOUTOUTA			B9 SINTHIOU MALEME		
日/月/年	測定時刻	地下水位 (GL-m)	日/月/年	測定時刻	地下水位 (GL-m)
01/12/08	7:30	12,65	01/02/09	9:00	19,90
08/12/08	7:30	12,65	08/02/09	8:45	19,91
15/12/08	7:08	12,80	16/02/09	9:05	19,90
24/12/08	15:10	13,25	23/02/09	12:30	20,90
12/01/09	7:03	12,65	02/03/09	9:35	19,91
			09/03/09	9:20	19,96
			16/03/09	8:45	19,93
			23/03/09	7:45	19,94
			30/03/09	8:00	19,94

深井戸の観測で典型的な季節変動を表していると考えられる「B6 AGNAM CIVOL」の観測事例を図 3-3-4 に示す。

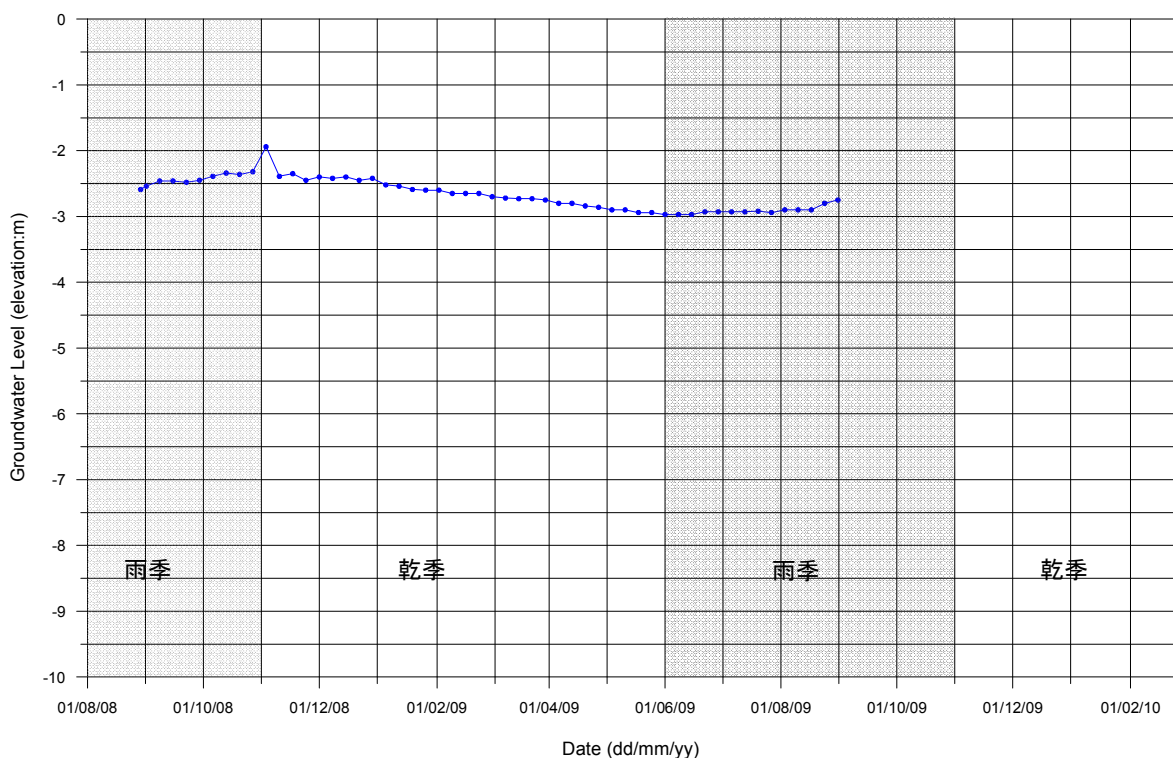


図 3-3-4 地下水位の季節変動の例 (B6 AGNAM CIVOL)

3.3.4 河川流量観測

前節で記したように DGPRE は河川流量観測を実施しているが、セネガル川沿いおよびガンビア川沿い以外の観測データは少ない。

調査目的や方法の詳細はサポーターブック（第 6.1 節）に記すが、上記を補完するために、図 3-3-5 の地点で河川流量観測を実施した。また、観測結果の詳細はデータブックに示すが、河川流動変動の概略の傾向は次のようにまとめられる（図 3-3-6～図 3-3-9 参照）。

- ・ マタム州北部：急激に水位が上昇して、徐々に水位が低下する（R2：Gourél Guéda 参照）。
- ・ マタム州・タンバクンダ州西部：極めて一時的に河川水が出現する（R11：Mana 参照）。
- ・ タンバクンダ州南西部：雨期には恒常的に河川水が出現する（R14：Maka 参照）。
- ・ 基盤岩／堆積層境界付近：水位の変動が激しい。一部には、徐々に水位が上昇して比較的急激に水位が低下する地点もある（R28：Soutouta 参照）。

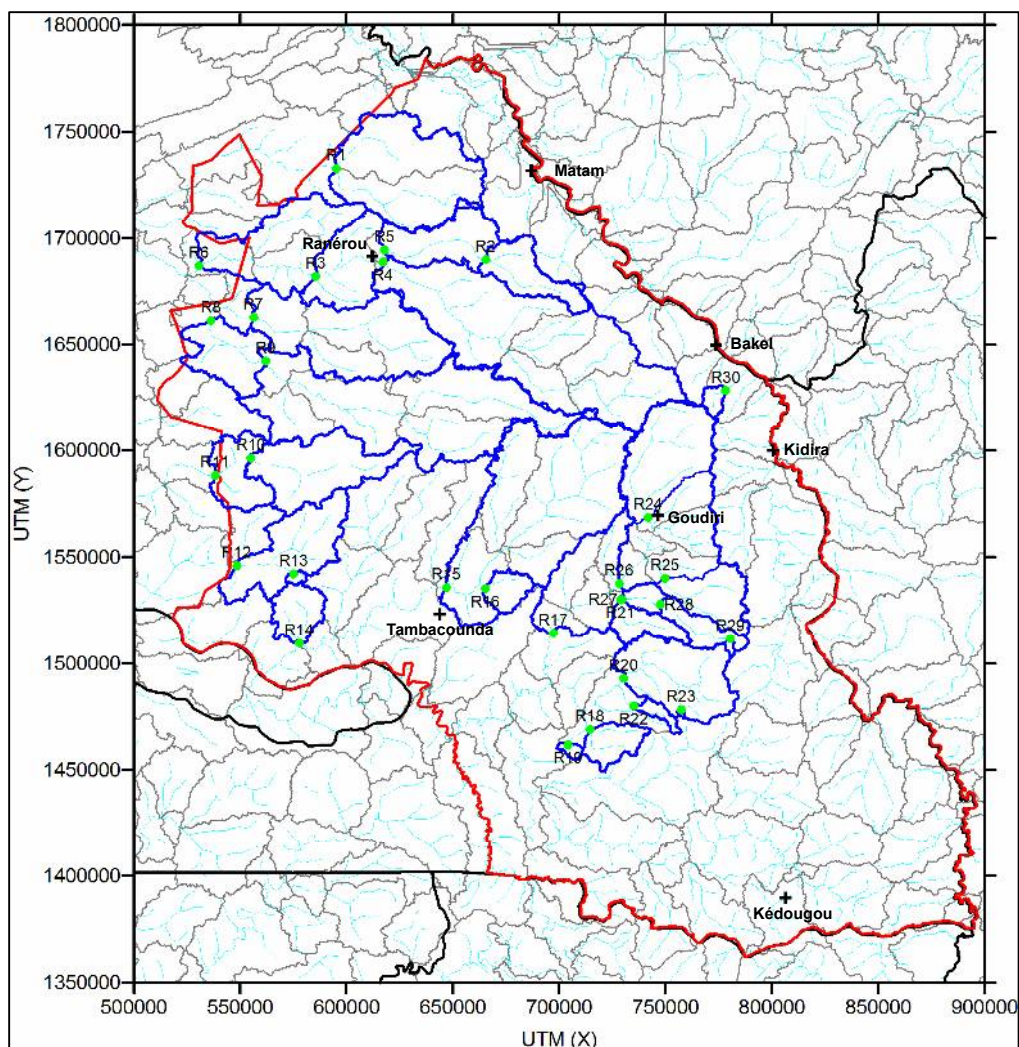


図 3-3-5 河川流量観測地点位置図

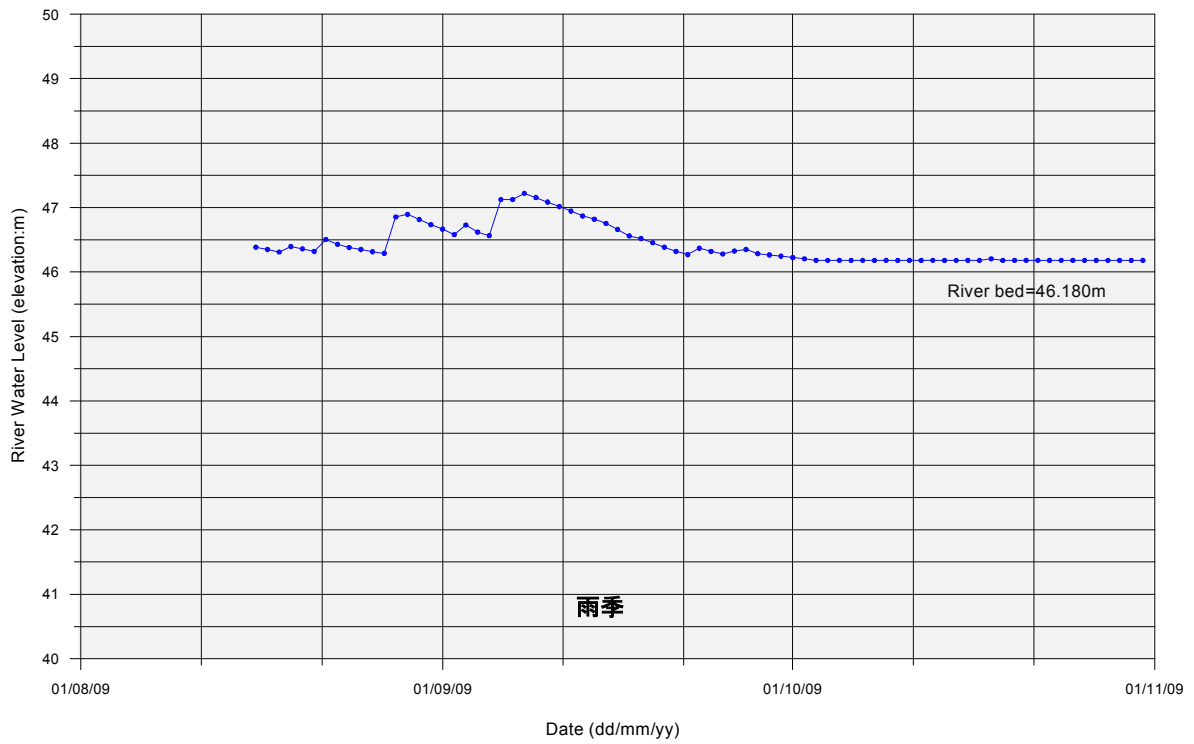


図 3-3-6 マタム州北部の河川水位変動の例 (R2 Gourél Guéda)

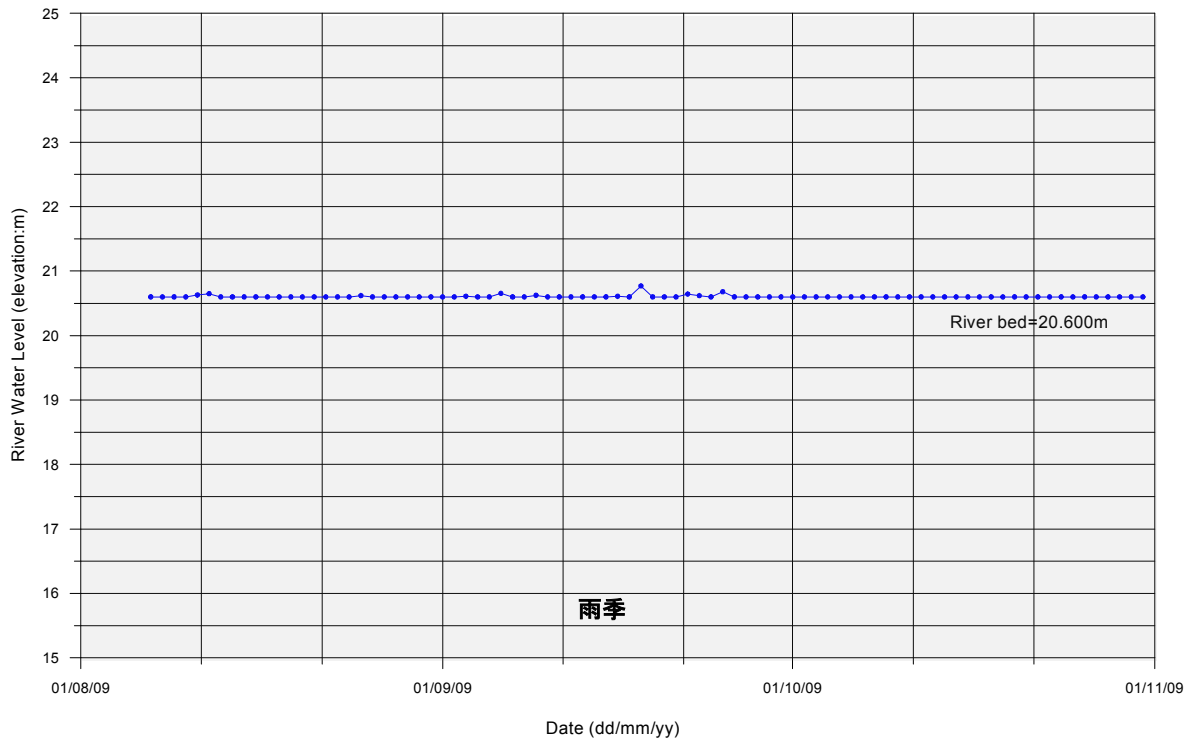


図 3-3-7 マタム州・タンバクンダ州西部の河川水位変動の例 (R11 Mana)

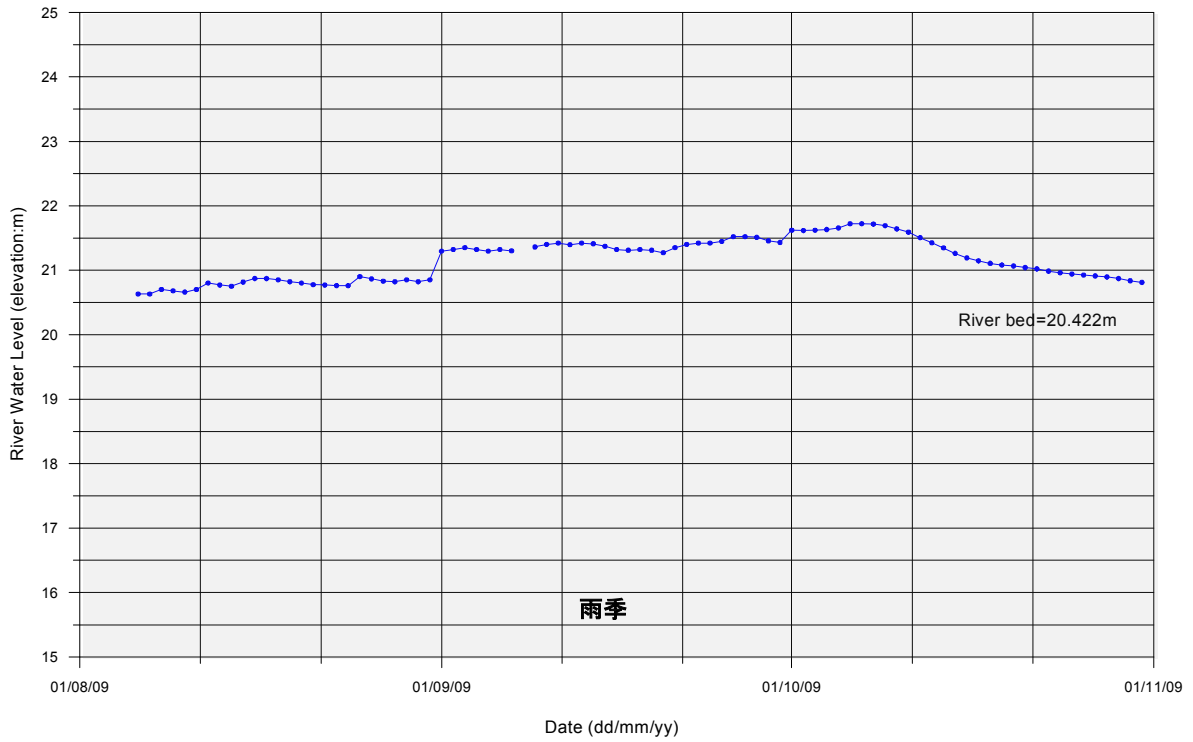


図 3-3-8 タンバクンダ州南西部の河川水位変動の例 (R14 Maka)

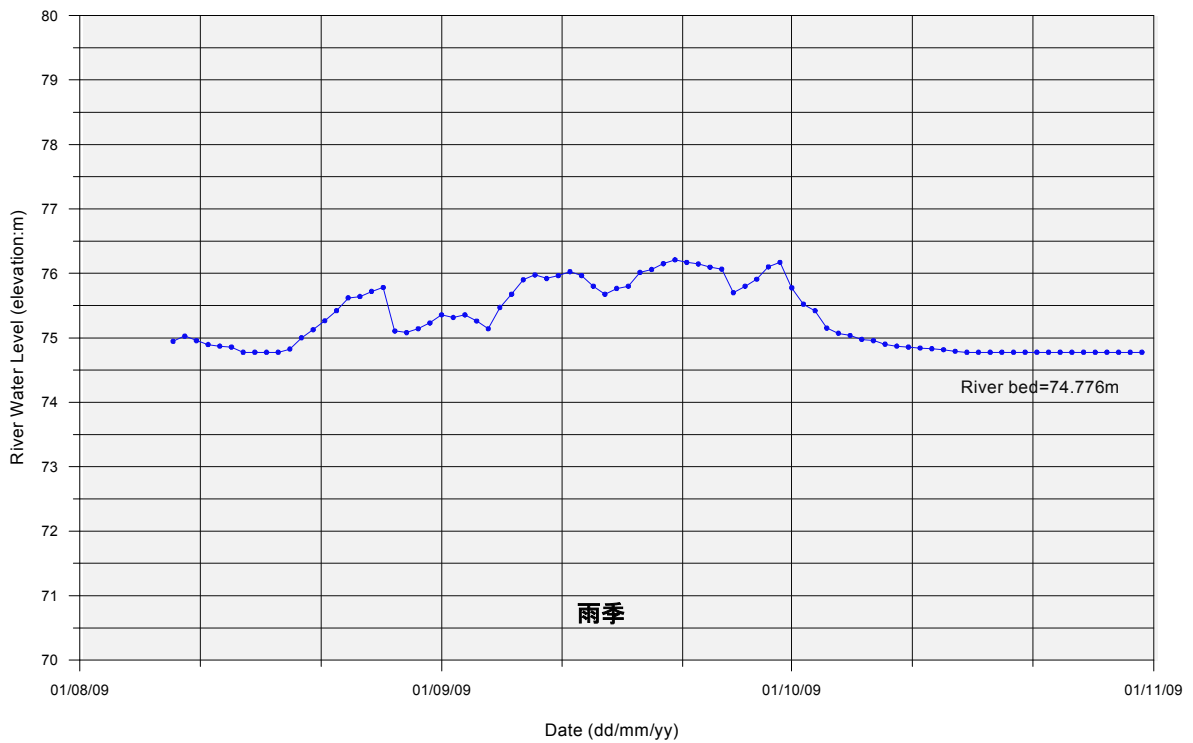


図 3-3-9 基盤岩／堆積層境界付近の河川水位変動の例 (R28 Soutouta)

(3) 使用コード

地下水流動シミュレーション解析には、MODFLOW コードを使用した。MODFLOW コードは世界的に広く利用されている解析コードであり、入出力用ソフトも多数開発されている。本プロジェクトでは、統合ソフト「Processing Modflow Pro」を用いて解析を行った。

MODFLOW は、米国地質調査所で開発された三次元地下水流動解析コードであり、偏微分方程式で表される三次元地下水流動を差分法で解く。

(4) 使用データ

地下水モデル構築に必要な項目と、本プロジェクトで使用データを表 3-4-7 に示す。

表 3-4-7 地下水モデルに使用したデータ

項目	使用データ
水理地質構造	DHR や DGPRE 等が保有する井戸掘削記録をもとに井戸柱状図を整理するとともに既存地質・物理探査報告を用いて、水理地質構造解析を行った。さらに、このモデルを、物理探査結果・試掘結果に基づいて修正した。
水理地質定数	DHR や DGPRE 等が保有する井戸掘削記録をもとに、透水量係数(透水係数)分布を推定した。貯留係数、有効空隙率、比浸出量の初期値は、帯水層の層相から推定される一般値を用いた。
地下水かん養量	乾燥地型(非湿潤地型)タンクモデルを作成して、1988年から2007年までの20年間の地下水かん養量を推定した。タンクモデルに使用したデータは下記のとおりである(第3.4.2節参照)。
	気象(降水量・気温) Météorologie Nationale 等の1988年から2007年までの観測データを使用した。
	検証データ DGPRE の河川流量観測データを検証データとした。
地下水揚水量	既存給水施設の稼働状況と2002年の人口統計データを基に揚水量を推定した(第3.4.3節参照)。
初期水頭	検証期間(1988年1月-2007年12月)の前に長期非定常計算(準定常計算)を行い、検証非定常計算開始時の初期水頭とした。
境界条件	河川流量観測結果、河川近傍の地下水位観測結果を基に、境界条件を設定した。
モデルの検証データ	DGPRE の地下水位観測データを検証データとした。

(5) モデルの構造

広域三次元モデルのモデル平面グリッドは、図 3-4-10 に示すように調査地域の堆積層地域全体をカバーするように設定した。モデルグリッドは世界測地系 WGS84 の UTM 座標系第 28 帯を基準として、各グリッドの平面サイズは 1km×1km とした(X 方向: 301 グリッド、Y 方向: 367 グリッド)。

広域三次元モデルの断面構造は、深度方向においてもタンバクンダ・マタム両州内の地下水盆全体を立体的にカバーできるような構造とし、地下水盆基底部(Ma 層下面)までの水文地質条件を反映できるモデルを作成した。帯水層としては以下に記す 5 層の区分が可能であり、この 5 層と基盤岩を含めた 6 層構造のモデル構造とした。

- Quaternaire 帯水層 (Q 層)
- Continental terminal / Oligo-Miocène 帯水層 (Co 層)
- Eocene 帯水層 (Eo 層)
- Paléocène 帯水層 (Pa 層)

- Maastrichtien 帯水層 (Ma 層)
- 基盤岩

また、シミュレーションモデルでは、水文地質条件を考慮した境界条件の設定が必要である。本プロジェクトでは閉鎖境界と一般水頭境界を設定しており、詳細はサポーターブック（第 6.3.1 節）に記す。

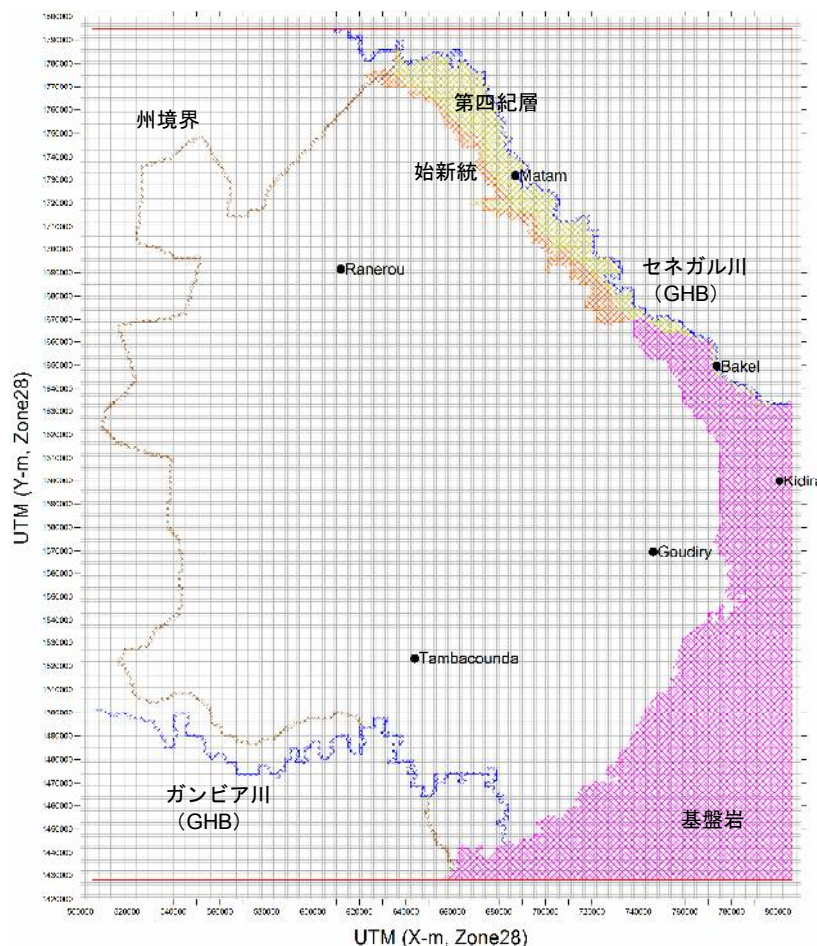


図 3-4-10 シミュレーション解析範囲

(6) 内挿検定結果

1) 初期水頭

広域三次元モデルの検証は、1988年1月から2007年12月までの月別時系列データを入力して非定常計算により実施したが、検証期間の非定常計算の前に長期非定常計算（準定常計算）を行い、検証非定常計算開始時の初期水頭とした。

本プロジェクトで実施した長期非定常計算（準定常計算）の方法は、以下のとおりである。

- ① 帯水層ごとに掘削時の静水位をもとに地下水位分布を設定
- ② 1989年から1992年の5年間の条件で10サイクル（50年間）の計算を実施
- ③ ②の最終ステップの計算水頭を検証非定常計算の初期水頭として入力

2) 計算水頭変動と実測水頭変動との比較

表 3-4-11 基盤岩類の分類と地下水ポテンシャル

表層地質	地下水ポテンシャル	
	高	可能
カンブリア系堆積岩	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯を伴う粗粒玄武岩の分布 泥質岩分布域の破碎帯密集域 (石英脈分布域) 	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域 石英脈分布域 Kidira-Bakel 周辺では、本層下位の變成岩類が主要な帯水層となる
カンブリア紀火山岩 (安山岩)		<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域
カンブリア紀變成岩 (片岩、珪岩)	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯を伴う粗粒玄武岩の分布 (石英脈分布域) 	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域 石英脈分布域
粗粒玄武岩	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域 	<ul style="list-style-type: none"> 小規模破碎帯分布域
Birimien 系 (片岩、珪岩、グレイワッケ、礫岩)	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯を伴う粗粒玄武岩の分布 (石英脈分布域) 	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域 石英脈分布域
Cipolins (結晶質石灰岩)		<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域
玄武岩類	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域 	<ul style="list-style-type: none"> 小規模破碎帯分布域
安山岩類		<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域
角閃岩		<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域
花崗岩類 (下記以外)		<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域 石英脈分布域 ペグマタイト脈分布域
花崗岩類(造山時火成活動)	<ul style="list-style-type: none"> 粗粒質花崗岩分布域の深層風化 粗粒質花崗岩分布域の貫入岩分布 塩基性岩類の貫入域 	<ul style="list-style-type: none"> 断層・破碎帯分布域 石英脈分布域 ペグマタイト脈分布域