

5. 水質分析

5 水質分析

5.1 サンプル地点の選定

水質分析用試料の採取地点を図 5.1及び表 5.1に示す。なお、Doba wein 郡は給水計画 M/P 作成対象郡ではあるが、安全上の理由から採水地点から除外した。

また、水処理施設を有する地点においては、原水、処理水、水栓水（レベル 2 の施設）の 3 箇所から試料を採取した。

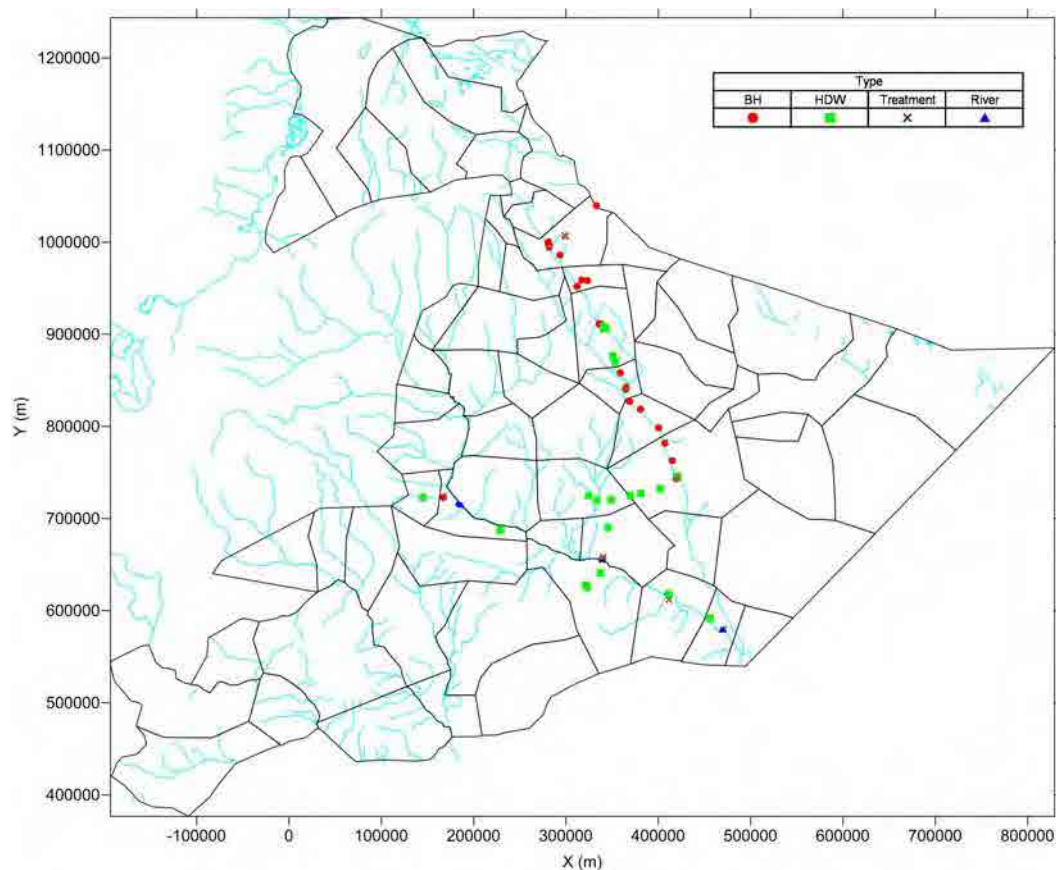


図 5.1: 水質分析用採水地点位置図

表 5.1: 採水地点の概要

S/No	Code	サイト	水源タイプ	Kebele	Woreda	採水日	経度 (°)	緯度 (°)
1	JV001	Qaaxo	BH	Kabribeyah Town	Kabribeyah	5/28/2012	43.01315	8.990637
2	JV002	UNHCR-BH2	BH			5/29/2012	43.00675	9.033903
3	JV003	EB2	BH			5/29/2012	43.01681	9.008257
4	JV004	Treatment	Treatment			6/29/2012	43.01886	9.010175
5	JV005	KB Reservoir	Treatment			5/29/2012	43.16678	9.108825
6	JV006	KB Tap water	Treatment			5/30/2012	43.17947	9.097877
7	JV007	Dameerboob	BH	Alleybadey	Araarso	5/30/2012	43.47856	9.402940
8	JV008a	Alelaleh	BH	Alelaleh		4/6/2012	43.12268	8.916600
9	JV009	Sangumare	BH	Sangumare		4/6/2012	43.33764	8.671703
10	JV010	Holjiid	BH	Holjiid		4/6/2012	43.29067	8.609164
11	JV011	Dikrelay BH	BH	Dikrelay BH		4/6/2012	43.39554	8.666236

12	JV012	Towlane	BH			5/6/2012	43.52682	8.230041
13	JV012a	Towlabe BH8	BH			7/7/2012	43.51130	8.246660
14	JV013	Horwarableh	BH			5/6/2012	43.57342	8.203686
15	JV014	Horwarableh	BH			5/6/2012	43.57241	8.201992
16	JV015	Horwarableh	BH			5/6/2012	43.57335	8.200223
17	JV016	Horwarableh	BH			5/6/2012	43.57437	8.205444
18	JV017	Horwarableh HDW	HDW			5/6/2012	43.57763	8.192841
19	JV018	Horwarable HDW	HDW			5/6/2012	43.57606	8.195358
20	JV019	Horadini HDW	HDW			5/6/2012	43.55771	8.209445
21	JV020	Hormaan HDW	HDW			5/6/2012	43.55673	8.209776
22	JV021	Horwaraable HDW	HDW			6/6/2012	43.57037	8.198087
23	JV022	Horwarable HDW	HDW	Dagahbur Town		6/6/2012	43.57008	8.198285
24	JV023	Horwarable HDW	HDW		Dagahbur	6/6/2012	43.56368	8.204104
25	JV024	Horwarable HDW	HDW			6/6/2012	43.56934	8.200236
26	JV025	Hormaan HDW	HDW			6/6/2012	43.55758	8.209833
27	JV026	Hormaan R/Bed	HDW			6/6/2012	43.55695	8.209623
28	JV027	Towlane Res	Treatment			4/6/2012	43.52140	8.242726
29	JV028	Towlane BH3	BH			6/6/2012	43.51657	8.235564
30	JV029	Horwarable HDW	HDW			6/6/2012	43.57303	8.198133
31	JV030	Horwarable HDW	HDW			6/6/2012	43.56509	8.200700
32	JV031	Haro-Yusuf HDW	HDW			6/6/2012	43.55213	8.213458
33	JV032	Haro-Yasuf-HDW	HDW			6/6/2012	43.55158	8.214197
34	JV033	Hodale HDW	HDW			7/6/2012	43.64764	7.928164
35	JV034	Hodale HDW2	HDW		Hodaale	7/6/2012	43.64769	7.928698
36	JV035	Hodaale HDW3	HDW			7/6/2012	43.64797	7.929024
37	JV036	Hodaale HDW3	HDW			7/6/2012	43.64802	7.929088
38	JV037	Sasabane HDW	HDW	Sasabane		7/6/2012	43.66898	7.868204
39	JV038	Bake BH	BH	Baka		7/6/2012	43.7214	7.761365
40	JV039	Birkot BH1	BH		Birqot	7/6/2012	43.77345	7.602069
41	JV040	Birkot BH2	BH	Birkot Town		7/6/2012	43.77650	7.620409
42	JV041	Birkot Res	Treatment			7/6/2012	43.77324	7.602186
43	JV042	Gomar BH	BH	Gomar		7/6/2012	43.81268	7.481253
44	JV043	Shagosh BH	BH	Shaygosh town	Shaygosh	7/6/2012	43.91955	7.406424
45	JV044	Wijiwaji BH	BH	Wijiwaji		8/6/2012	44.09884	7.223387
46	JV045	Galadid BH	BH	Galadid		8/6/2012	44.16101	7.071279
47	JV046	Karinbilcinle BH	BH	Karinbilcinle		8/6/2012	44.23169	6.902690
48	JV047	Kabridahar BH1	BH			8/6/2012	44.28269	6.735313
49	JV048	Kabridahar BH2	BH			8/6/2012	44.26901	6.720965
50	JV049	Kabridahar BH3	BH			9/6/2012	44.27491	6.747513
51	JV050	K/Dahar HDW1	HDW		Kabridahar Town	9/6/2012	44.27789	6.745346
52	JV051	K/Dahar HDW2	HDW			9/6/2012	44.27854	6.744768
53	JV052	K/Dahar HDW3	HDW			9/6/2012	44.28462	6.743158
54	JV053	K/Dahar Res	Treatment			9/6/2012	44.27707	6.736046
55	JV054	Dalad HDW	HDW	Dalad		10/6/2012	44.11548	6.624454
56	JV055	Kabtinag HDW	HDW	Kabtinag		10/6/2012	43.92428	6.579478
57	JV056	Lasdhankeyrle HDW	HDW	Lasdhankeyrle		10/6/2012	43.81938	6.560384
58	SB001	Danbarweyne HDW	HDW	Danbarweyne		10/6/2012	43.63270	6.517993
59	SB002	Koore HDW1	HDW	Koore	Danan	11/6/2012	43.41272	6.551983
60	SB003	Koore HDW2	HDW	Koore		11/6/2012	43.41418	6.554763
61	SB004	Danan HDW	HDW	Danan Town		11/6/2012	43.49640	6.510506
62	SB005	Hadhawe HDW	HDW	Hadhawe	Godey	11/6/2012	43.60365	6.242139
63	SB006	Gode Intake (River)	RIVER	Godey Town		11/6/2012	43.54671	5.923539

64	SB007	River	RIVER	Godey Town	Godey	11/6/2012	43.54480	5.926446
65	SB008	River	RIVER			11/6/2012	43.53997	5.928875
66	SB009	River	RIVER			11/6/2012	43.54154	5.932949
67	SB010	Clear Water Gode	Treatment			11/6/2012	43.54761	5.923804
68	SB011	Agriculture Tap Water Gode	Treatment			16/6/2012	43.55913	5.938023
69	SB012	Agriculture Clear Water	Treatment			16/6/2012	43.55213	5.922983
70	SB013	Agriculture Intake (River)	RIVER			16/6/2012	43.55116	5.922275
71	SB014	Kalafo Intake (River)	RIVER	Kalafo Town	Kalafo	16/6/2012	44.19996	5.587188
72	SB015	Kalafo Clera Water	Treatment			12/6/2012	44.20104	5.588718
73	SB016	Kalafo Tap Water	Treatment			12/6/2012	44.20299	5.533606
74	SB017	River	RIVER			13/6/2012	44.19626	5.591615
75	SB018	River	RIVER			13/6/2012	44.19260	5.592361
76	SB019	River	RIVER			13/6/2012	44.18262	5.598580
77	SB020	Kalafo HDW	HDW			13/6/2012	44.19976	5.590951
78	SB021	Mustahil Intake (River)	RIVER	Mustahil Town	Mustahil	14/6/2012	44.73387	5.241222
79	SB022	Mustahil Clear Water	Treatment			14/6/2012	44.73376	5.241539
80	SB023	Mustahil Tap Water	Treatment			14/6/2012	44.73376	5.241684
81	SB024	River	RIVER			14/6/2012	44.73352	5.239476
82	SB025	River	RIVER			14/6/2012	44.73155	5.23725
83	SB026	River	RIVER			14/6/2012	44.71619	5.230938
84	SB027	Kunaso HDW	HDW			Kunaso	15/6/2012	44.60693
85	SB028	Adadle HDW1	HDW	Adadle	Adadle	17/6/2012	43.53263	5.793873
86	SB029	Adadle HDW2	HDW			17/6/2012	43.53150	5.798347
87	SB030	Gode Tap Water	Treatment	Godey Town	Godey	17/6/2012	43.55352	5.956683
88	SB031	River	RIVER	West-Ime	West Ime	20/6/2012	42.14716	6.456044
89	SB032	River	RIVER			20/6/2012	42.14757	6.459326
90	SB033	River	RIVER			20/6/2012	42.13420	6.471421
91	SB034	Bula BH	BH	Bula		20/6/2012	41.02133	7.510862
92	SB035	Raaso BH	BH	Raaso	Raaso	20/6/2012	41.02015	7.312984
93	SB036	Raaso HDW	HDW			20/6/2012	41.79504	6.530456
94	SB037	River	RIVER	East Ime	East Ime	22/6/2012	42.16685	6.449982
95	SB038	River	RIVER			22/6/2012	42.16586	6.450122
96	SB039	River	RIVER			22/6/2012	42.16834	6.449792
97	SB040	River	RIVER			22/6/2012	42.16874	6.449677
98	SB041	Laab HDW1	HDW	Laab	Beercaano	22/6/2012	42.55444	6.209163
99	SB042	Laab HDW2	HDW			22/6/2012	42.55209	6.217079
100	SB043	Biroleys HDW1	HDW	Biroleys	Adadle	26/6/2012	43.40299	5.654632
101	SB044	Biroleys HDW2	HDW			26/6/2012	43.38513	5.678248
102	JICABH1	JICA Well No-1	BH	Kabribeyah	Kabribeyah	5/8/2012	43.00874	9.0435
103	JICABH2	JICA Well No-2	BH	Kabribeyah	Kabribeyah	27/7/2012	43.00538	9.0420

*番号 102,103 は本調査で実施した深井戸

5.2 水質分析の項目と方法及び精度管理

水質分析（試料採水、分析）は、現地再委託（ローカルコンサル契約）により実施した（実施機関：SHAAC Consulting Company、分析機関：Haramaya University）。

本調査においては、採水時に現地でパックテストや携帯式分析器（pH、EC等）を用いて以下に示す項目の簡易測定を行なった。

- 水温、電気伝導度(EC)、pH、鉄、マンガン、フッ素、硝酸、ヒ素(As)、アンモニウムイオン、COD、残留塩素、大腸菌、一般細菌

また、Haramaya 大学の分析室においては以下に示す項目の分析を表 5.2に示す方法で行なった。

濁度、全蒸発残留物 (TDS)、懸濁物質 (SS)、pH、電気伝導度 (EC)、全硬度、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、カリウム (K)、ナトリウム (Na)、鉄 (Fe)、マンガン (Mn)、塩素イオン (Cl)、硫酸イオン (SO₄)、硝酸 (HNO₃)、アルカリ度 (CO₃²⁻, HCO₃⁻)、フッ素 (F)、リン酸 (PO₄)、アンモニウムイオン (NH₃+NH₄)

表 5.2: 分析項目毎の水質分析方法

S.N	Parameter	Method
1	Turbidity (FTU)	Nephelometric Method
2	TDS (ppm)	HI 9635 Portable Waterproof Multi-Range Conductivity/TDS meter
3	TSS (mg/l)	APHA, 1992
4	pH	APHA, 1998: Electrometric method
5	EC(mS/cm)	APHA, 1998: Electrometric method
6	Hardness (mg/l CaCO ₃)	APHA, 1998: EDTA Titrimetric method
7	Ca(ppm)	EPA Method # 215.1. AAS
8	Mg(ppm)	EPA Method # 242.1. AAS
9	K(ppm)	APHA, 1998: Flame photometric Method
10	Na(ppm)	APHA, 1998: Flame photometric Method
11	Fe(ppm)	EPA Method # 236.1. AAS
12	Mn(ppm)	EPA Method # 243.1. AAS
13	Cl ⁻ (ppm)	APHA, 1998: Argentometric method
14	SO ₄ ²⁻ (ppm)	APHA, 1998: Turbidimetric Method
15	NO ₃ ⁻ (ppm)	APHA, 1998: UV spectrophotometric screening method
16	Alkalinity (CO ₃ ²⁻ and HCO ₃ ⁻) meq/l	APHA, 1998: Titration Method
17	F ⁻ (mg/l)	Ion selective electrode Method
18	T.P (ppm)	EPA Method # 365.4Colorimetric Method
19	NH ₄ ⁺ (ppm)	APHA, 1998: Phenate Method

5.3 水質分析の結果

5.3.1 トリリニアダイアグラムの結果と解釈

水質分析結果をデータ集に添付するとともに、トリリニアダイアグラムを図 5.2から図 5.6に示す。

個々のサンプルの水型は、データ集に添付した一覧表に示す。また、対象地域の水型の特徴は、次項のヘキサダイアグラムの結果と総合的に考察し、次項に記す。

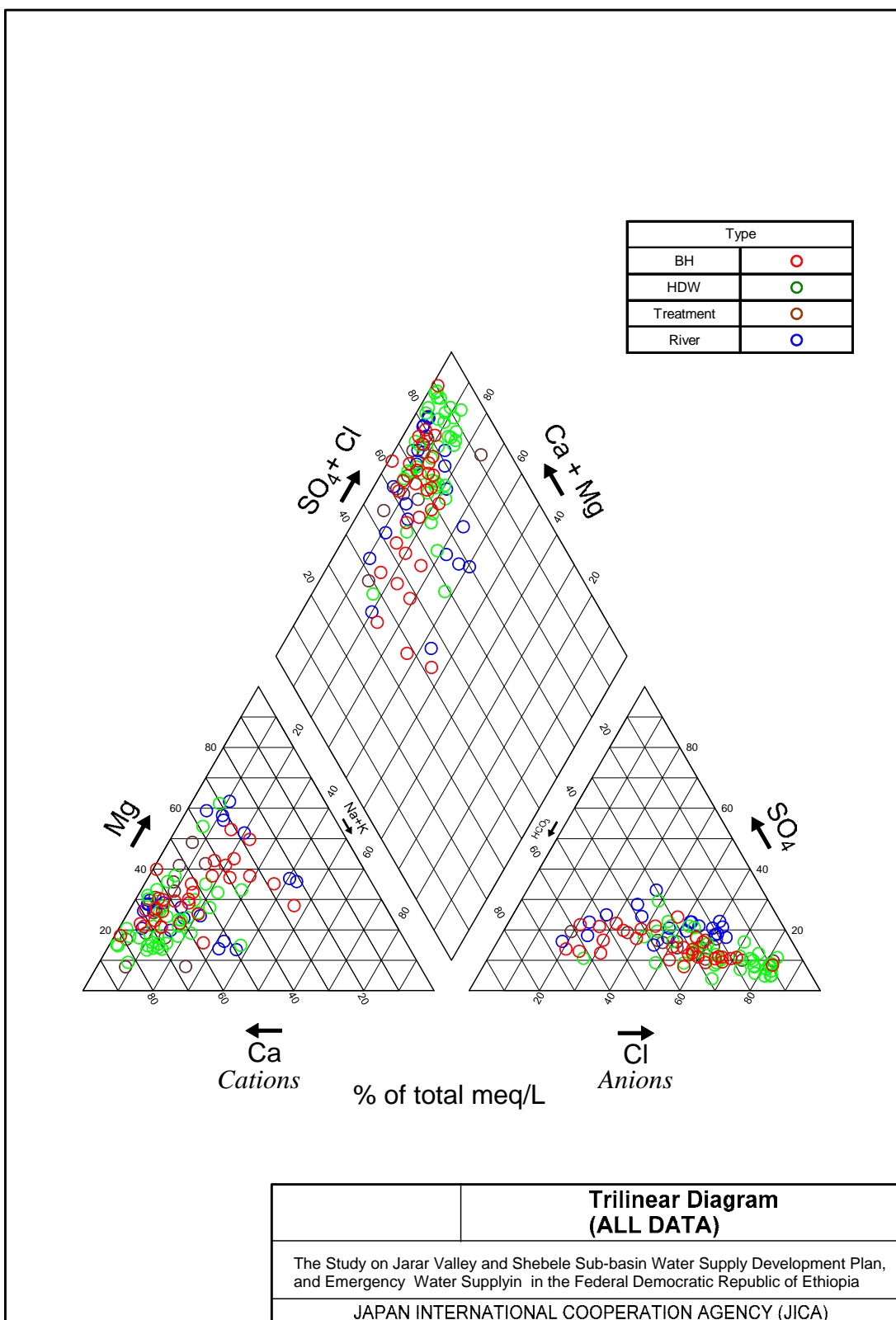


図 5.2: トリリニアダイアグラム(全データ)

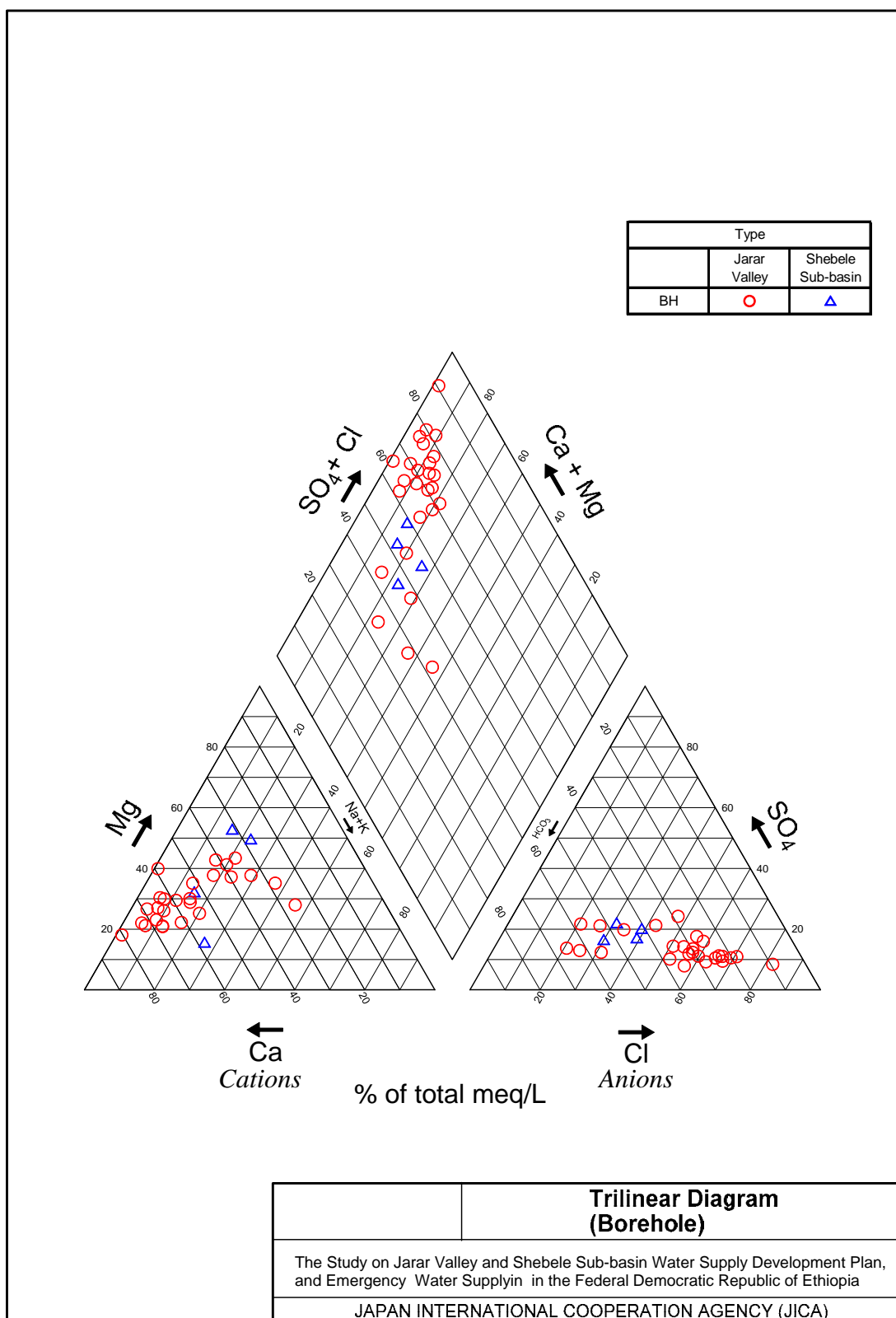


図 5.3: トリリニアダイアグラム(ボアホール水)

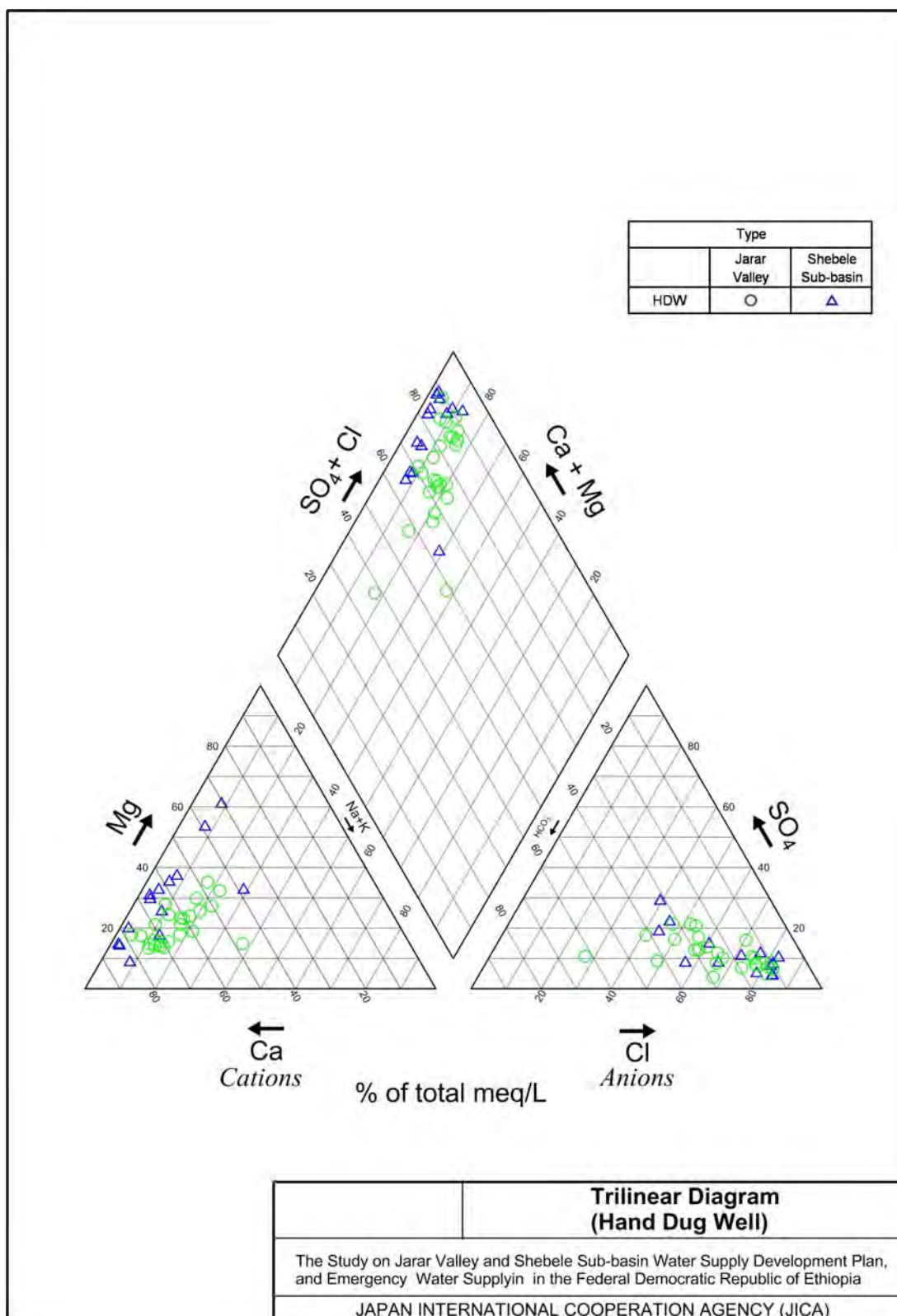


図 5.4: トリリニアダイアグラム(ダッグ・ウェル水)

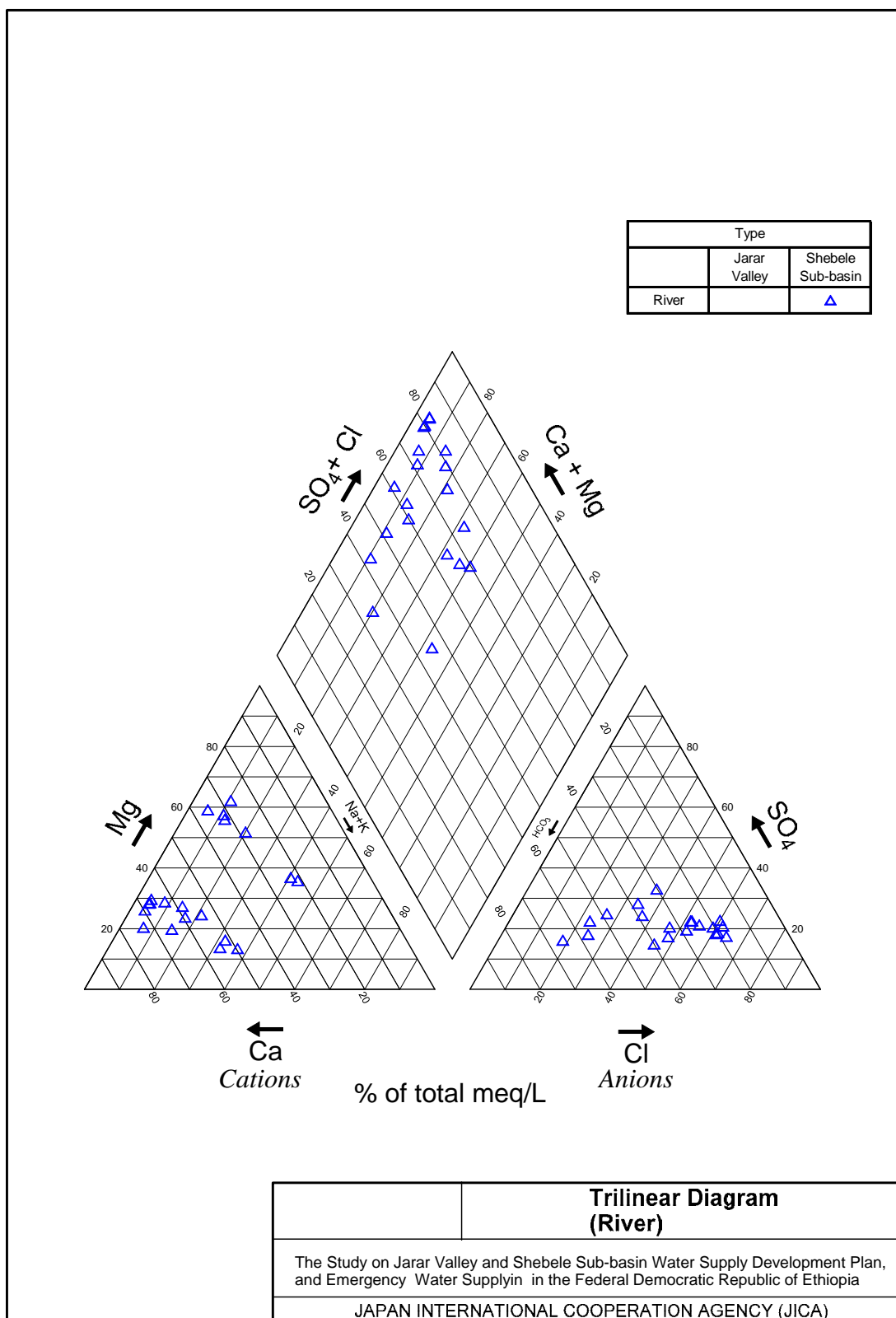


図 5.5: トリリニアダイアグラム(河川水)

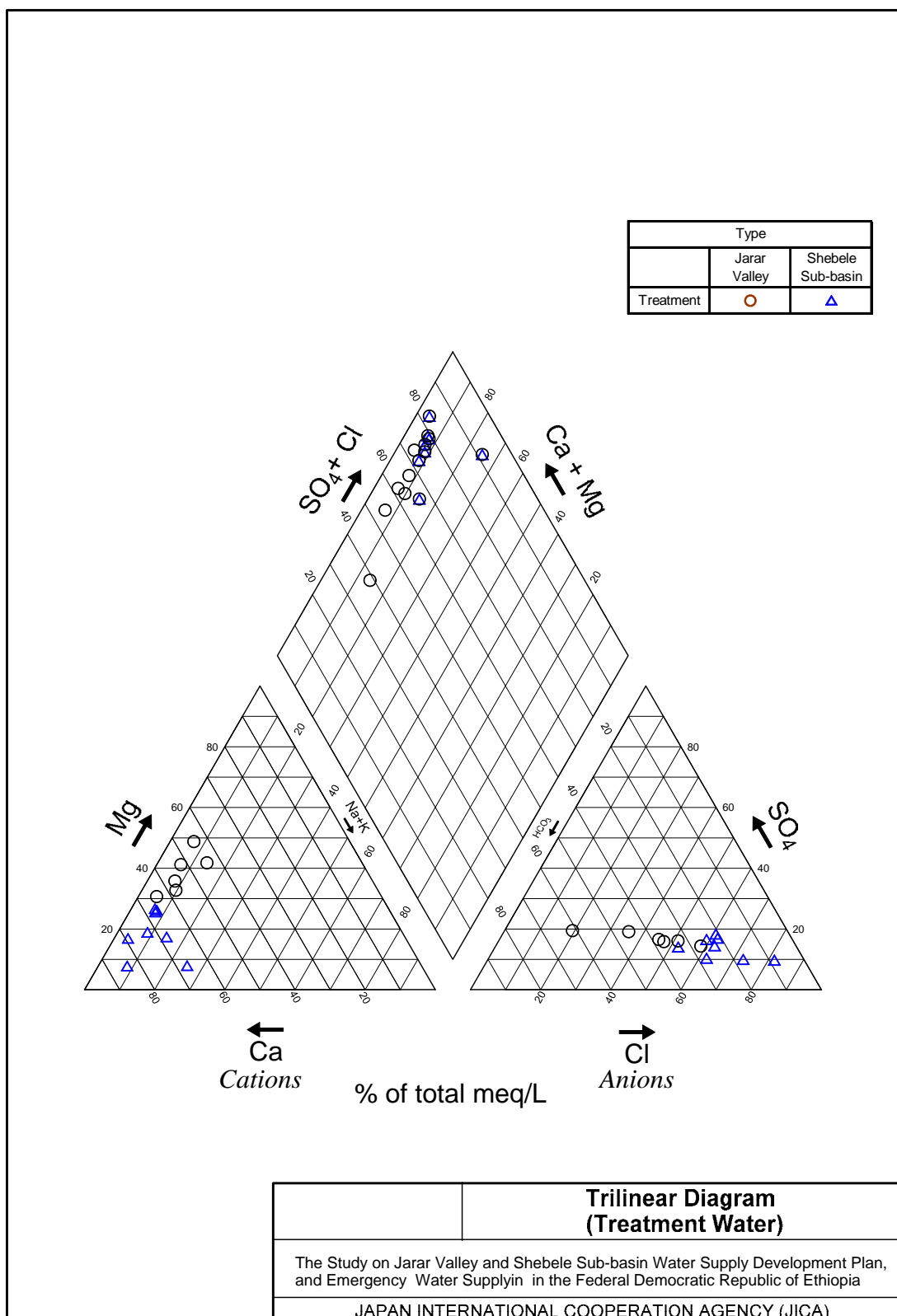


図 5.6: トリリニアダイアグラム(処理水)

5.3.2 ヘキサダイアグラムの結果と解釈

ヘキサダイアグラムを図 5.7から図 5.11に示す。

前項のトリリニアダイアグラムの特徴とヘキサダイアグラムの特徴から、分析試料の水型は下記のようにまとめられる。

- 全試料の 25% (25 サンプル) は Ca-Mg タイプ、17% (17 サンプル) が Ca-Mg-Cl タイプ、17% (17 サンプル) が Ca-Mg-Na-Cl タイプを示し、この 3 タイプで約 60% となる。
- ボアホール水においては、Ca-Mg-Na-Cl タイプ (9 サンプル、32.14%)、Ca-Mg-Cl タイプ (6 サンプル、21.43%)、が卓越する。
- ダッグ・ウェル水においては、Ca-Mg タイプ (11 サンプル、28.12%) と Ca-Mg-Cl タイプ (10 サンプル、25.64%)、Ca-Mg-Na-Cl タイプ (6 サンプル、15.38%) が卓越する。
- 河川水においては、Ca-Mg タイプ (6 サンプル、30%) と Ca-Mg-SO₄ タイプ (4 サンプル、20%) が卓越する。

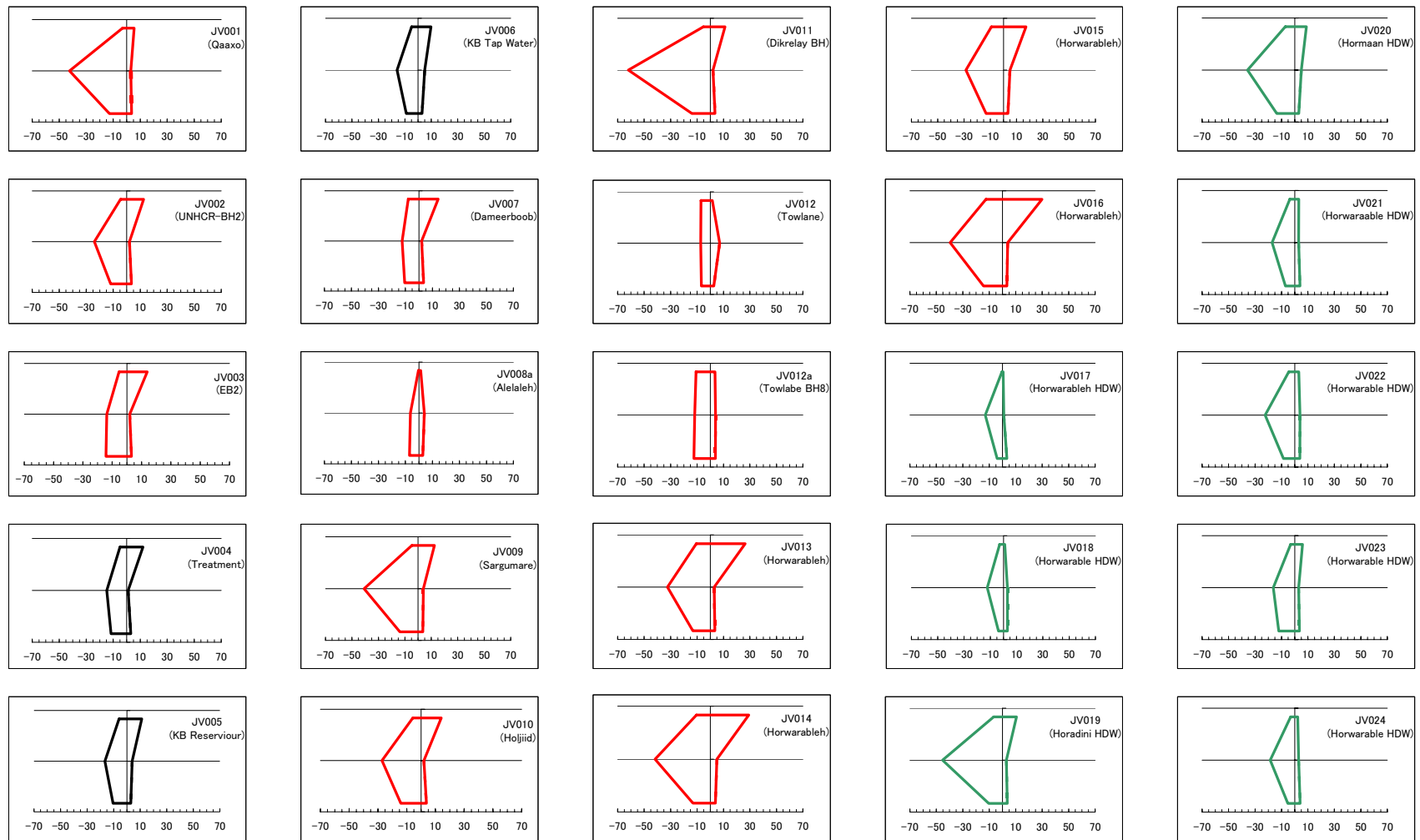


図 5.7: ヘキサダイアグラム(1/5)

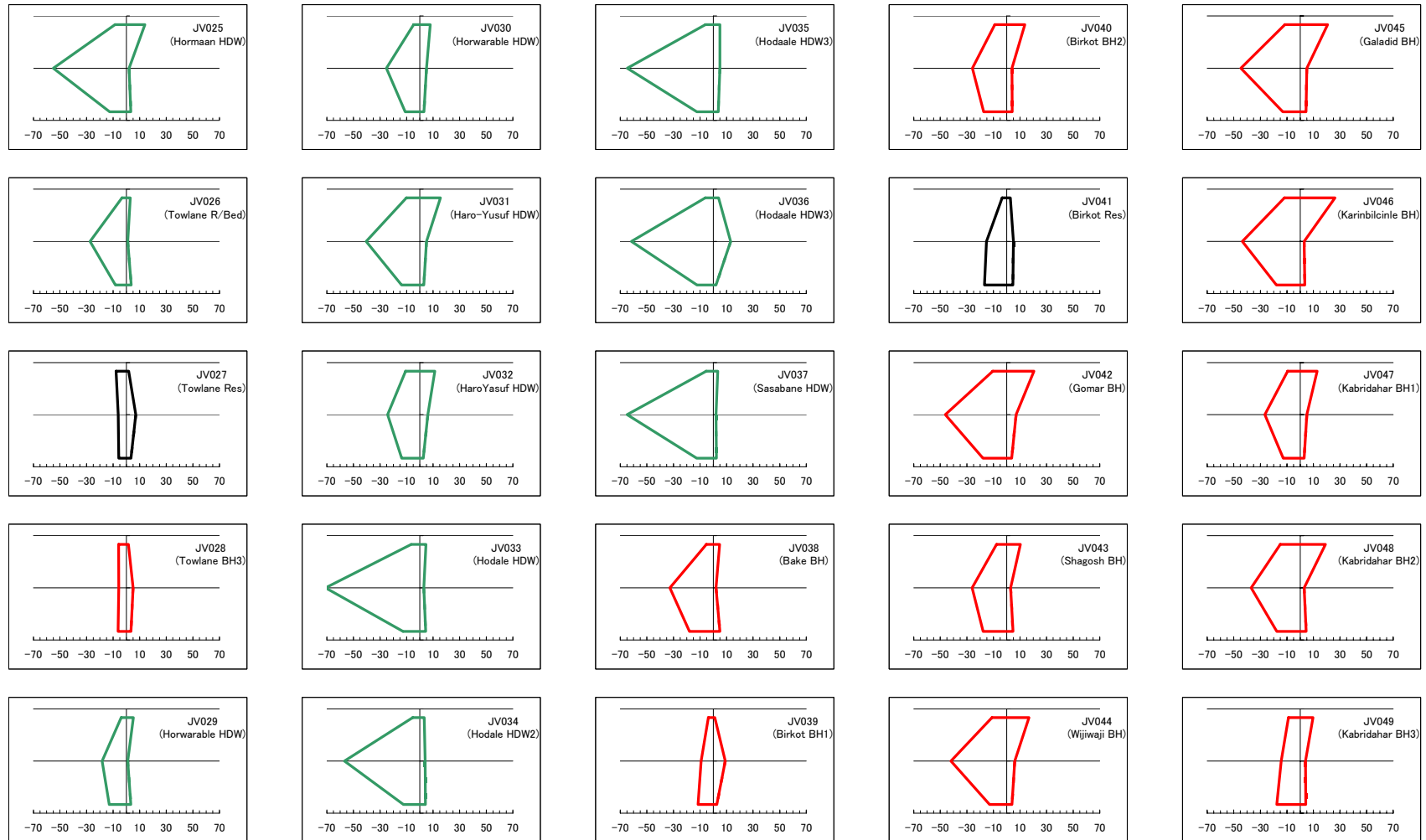


図 5.8: ヘキサダイアグラム (2/5)

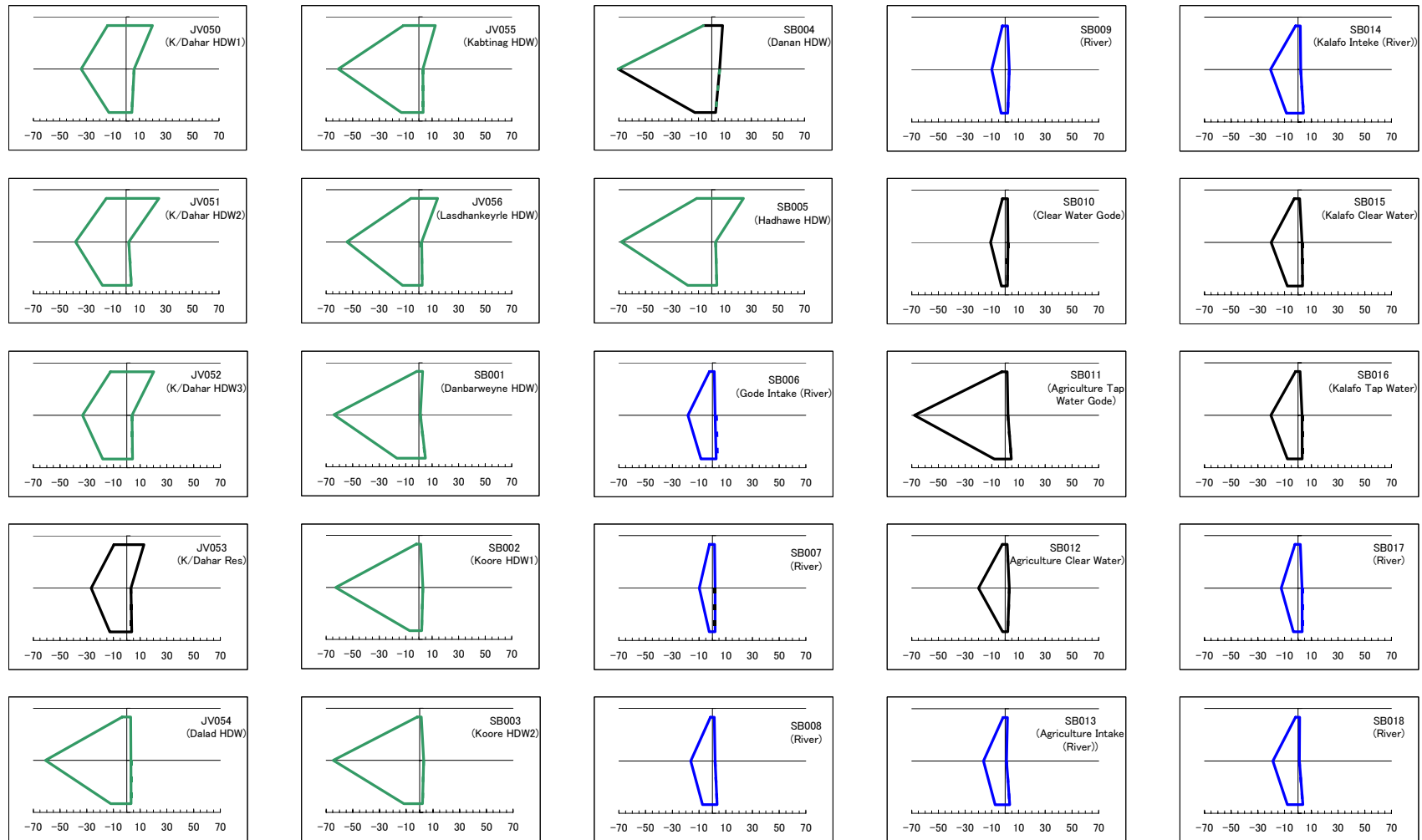


図 5.9: ヘキサダイアグラム (3/5)

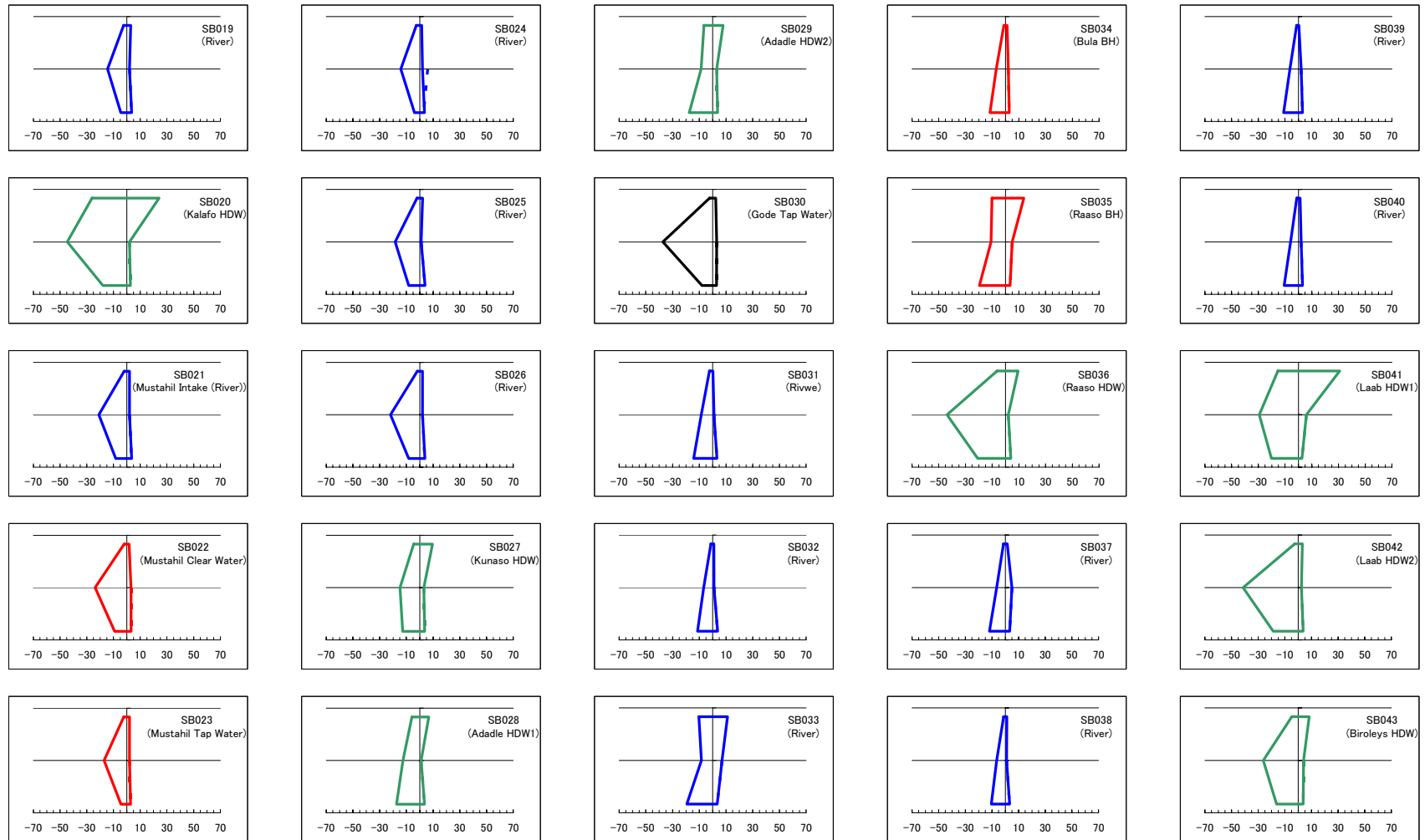
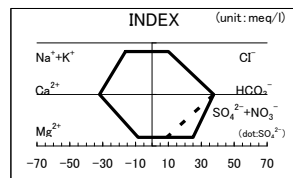
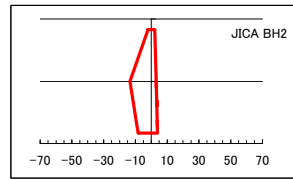
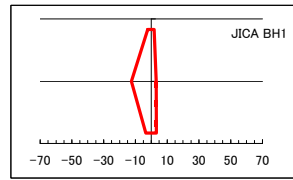
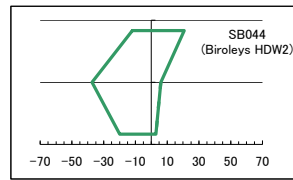


図 5.10: ヘキサダイアグラム(4/5)



赤：ボアホール水、緑：ダッグ・ウエル水、青：河川水、黒：処理水

図 5.11: ヘキサダイアグラム(5/5)

5.4 水質の評価

5.4.1 水質基準の解釈

a. 水質基準

水質分析結果を WHO ガイドライン（WHO Guidelines for drinking-water quality）及びエチオピアの水質基準と比較した結果を以下に示す。

a.1 アンモニウムイオン（NH₄）

アンモニウムイオンのWHO許容値は1.5mg/lで、エチオピアの飲料水基準は2mg/lである。ボアホール水ではAraarso郡の1サンプルが1.5mb/lを越えて、ダッグ・ウェル水では2サンプル（Dagahbur郡とWest Ime郡）がWHO許容値を満たしていない。河川水と処理水は共にアンモニウムイオン濃度に問題はない（図 5.12）。

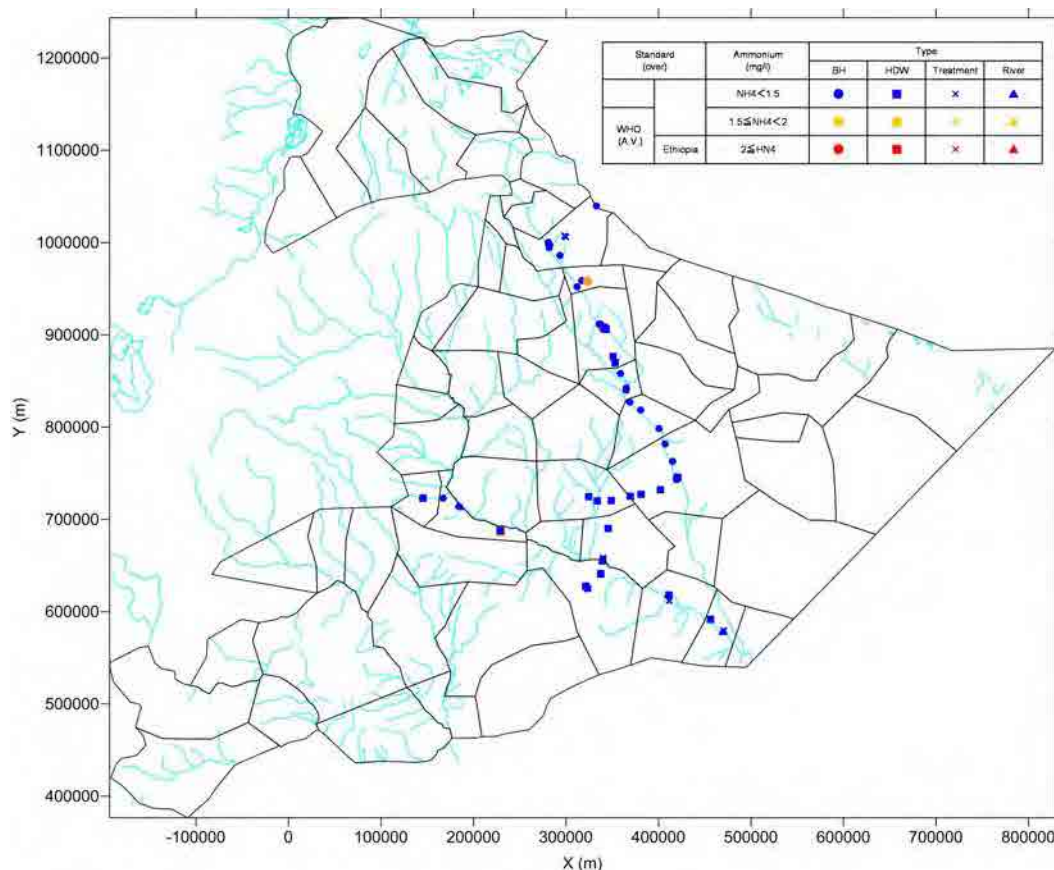


図 5.12: アンモニウムイオン濃度

a.2 硫酸イオン (SO₄)

硫酸イオンの WHO 許容値は 250mg/l で、エチオピアの飲料水基準は 483mg/l である。全てのサンプルが WHO 許容値以下である（図 5.13）。

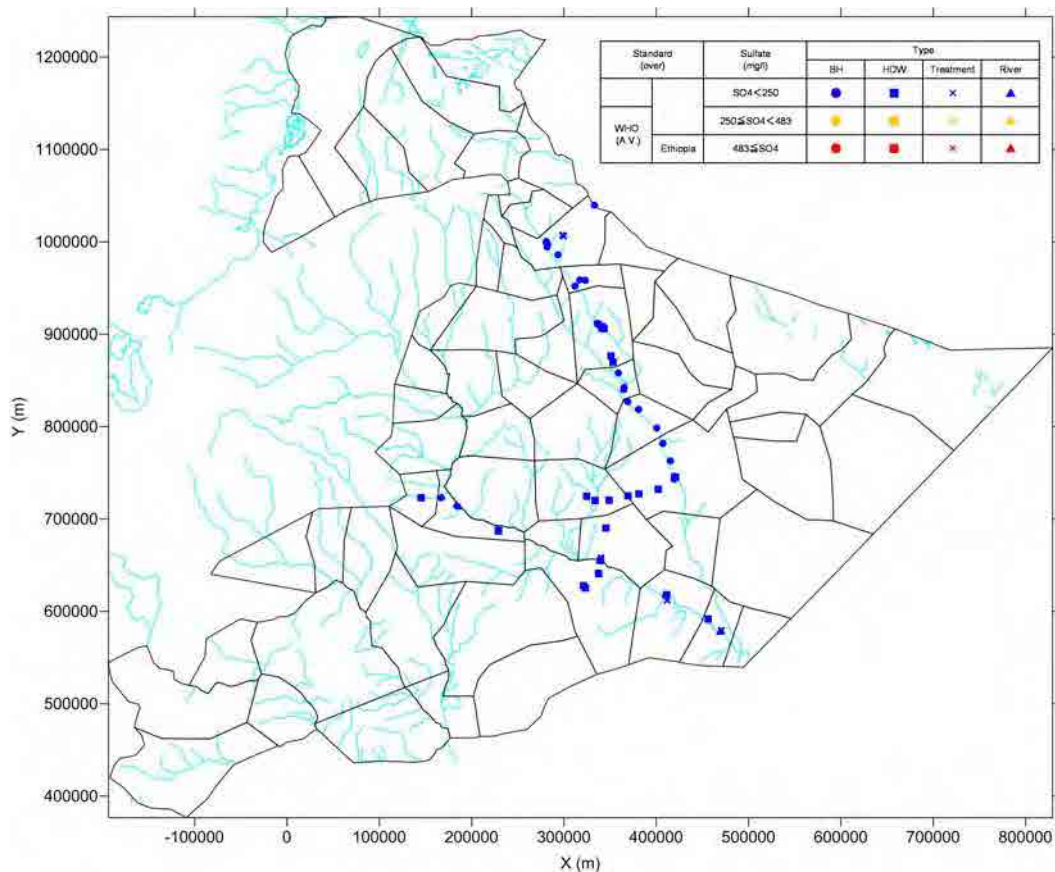


図 5.13: 硫酸イオン濃度

a.3 硝酸イオン (NO₃)

エチオピアの飲料水基準、WHO ガイドライン値とも硝酸イオンの最大値は 50mg/l であるが、地下水・表流水とも硝酸イオン濃度は大変低い（図 5.14）。

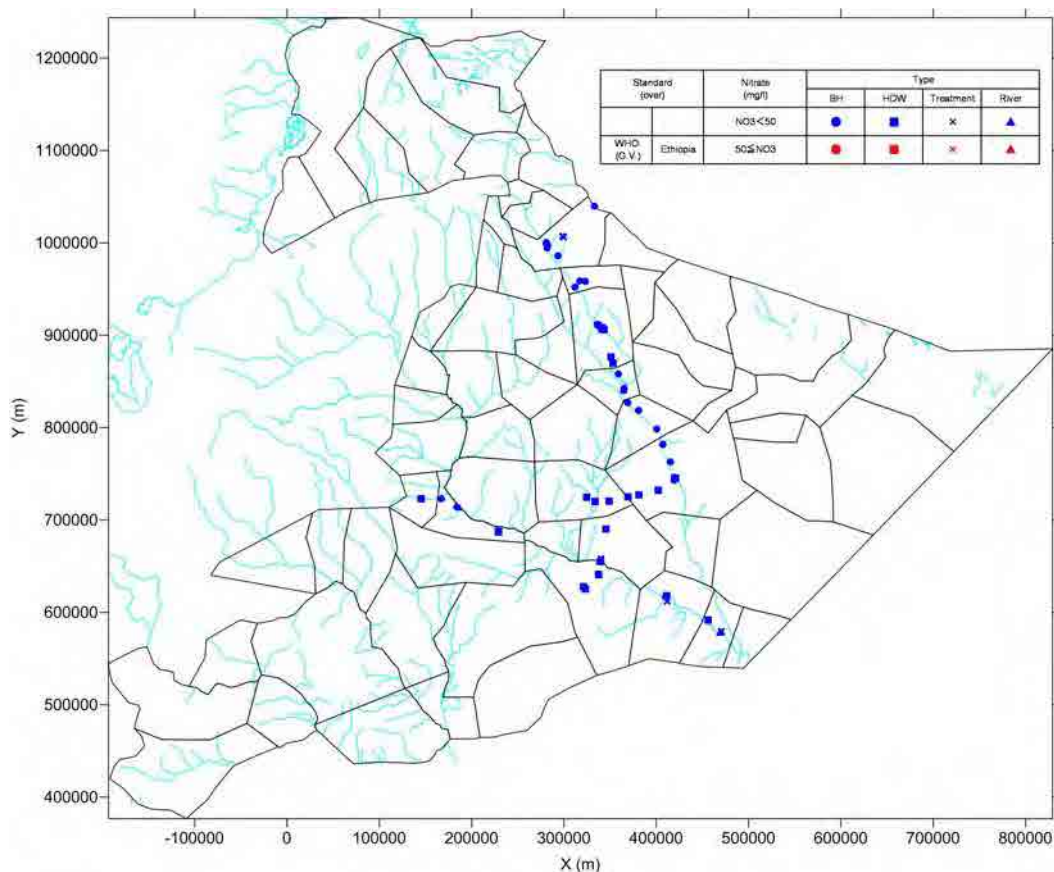


図 5.14: 硝酸イオン濃度

a.4 濁度

濁度に関して、WHO が 5NTU の許容値を設けている。ボアホール水は 28 サンプル中 12 サンプル（43%）が許容値内で残りの 57%は許容値を満たしていない。ダッグ・ウェル水では 59%、処理水では 57%が許容値を満たす。河川水は 95%（20 サンプル中 19 サンプル）が許容値を超えている（図 5.15）。

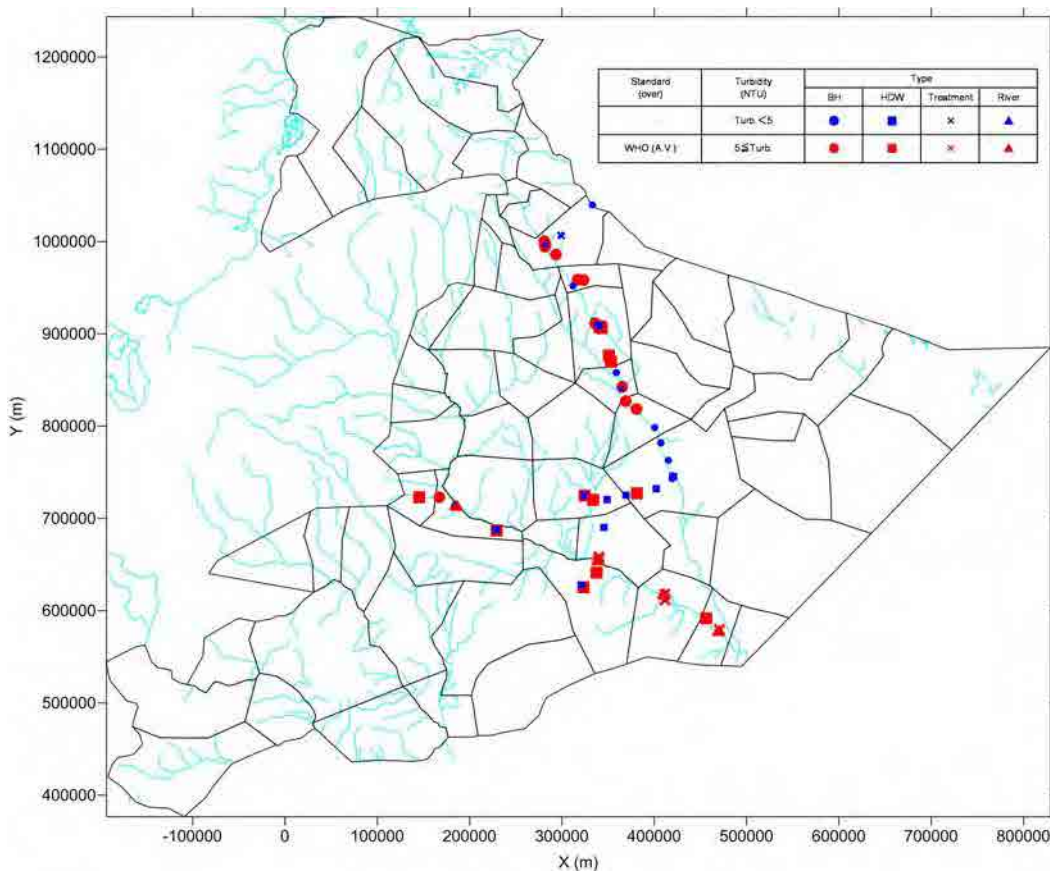


図 5.15: 濁度

a.5 フッ素 (F) イオン

フッ素イオンの WHO ガイドライン値は 1.5mg/l で、エチオピアの飲料水基準は 3.0mg/l である。ボアホール水では Birqod 郡のサンプルの 1.84mg/l が最大値で、ダッグ・ウェル水では Rasso 郡のサンプルの 2.007mg/l が最大値である。河川水では East-Ime のサンプルの 2.141mg/l が最大値である。シェベレ川支流域では、East Ime 郡、West Ime 郡、Rasso 郡の各種水源の大部分のサンプルで高いフッ素イオン濃度を示しており、この地域はフッ素イオンの高濃度地域である（図 5.16）。

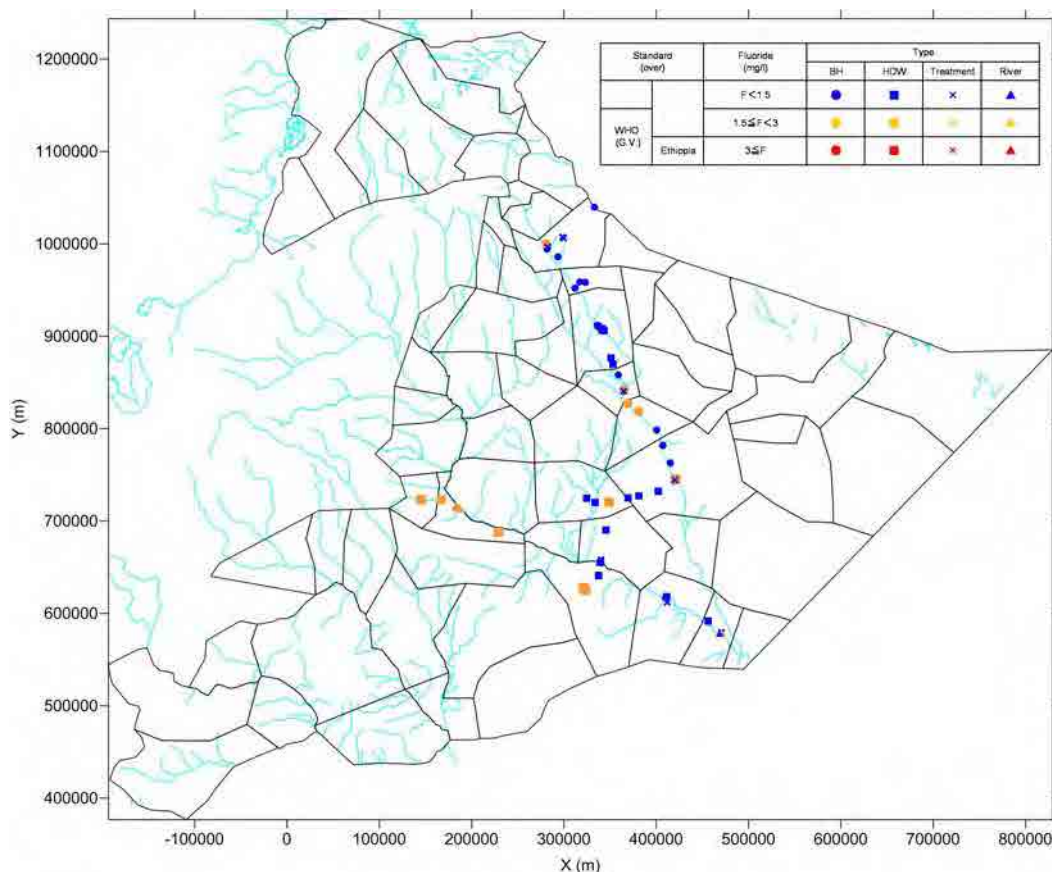


図 5.16: フッ素イオン濃度

a.6 全蒸発残留物（TDS）

全蒸発残留物（TDS）の WHO 許容値は 1,000mg/l、エチオピアの飲料水基準は 1,776mg/l である。ボアホール水は 26%が WHO 許容値内で、ダッグ・ウェル水は 20%しか WHO 許容値を満たさない。河川水は 1 サンプル（West Ime 郡）のみが許容値を超え、処理水は 5 サンプルが許容値を満たさない（図 5.17）。

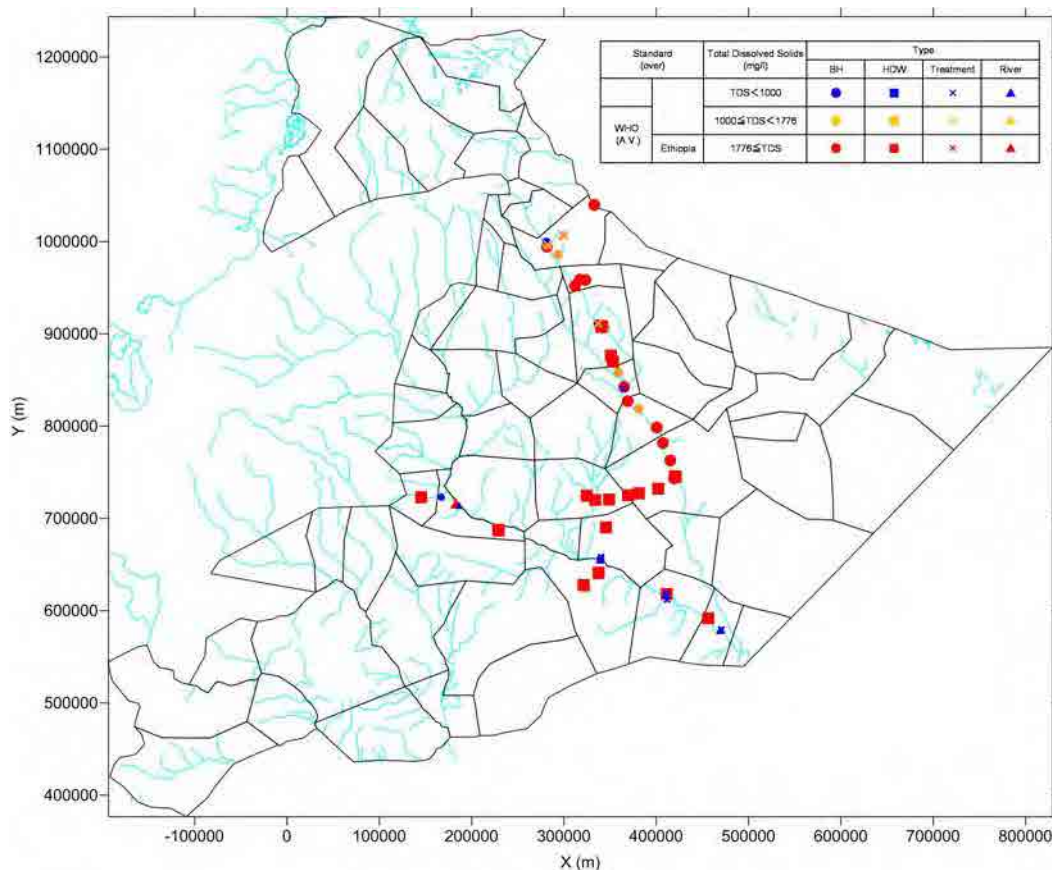


図 5.17: 全蒸発残留物(TDS)

a.7 pH

pHに関しては、全てのサンプルが WHO 許容値、エチオピアの飲料水基準を満たしている（図 5.18）。

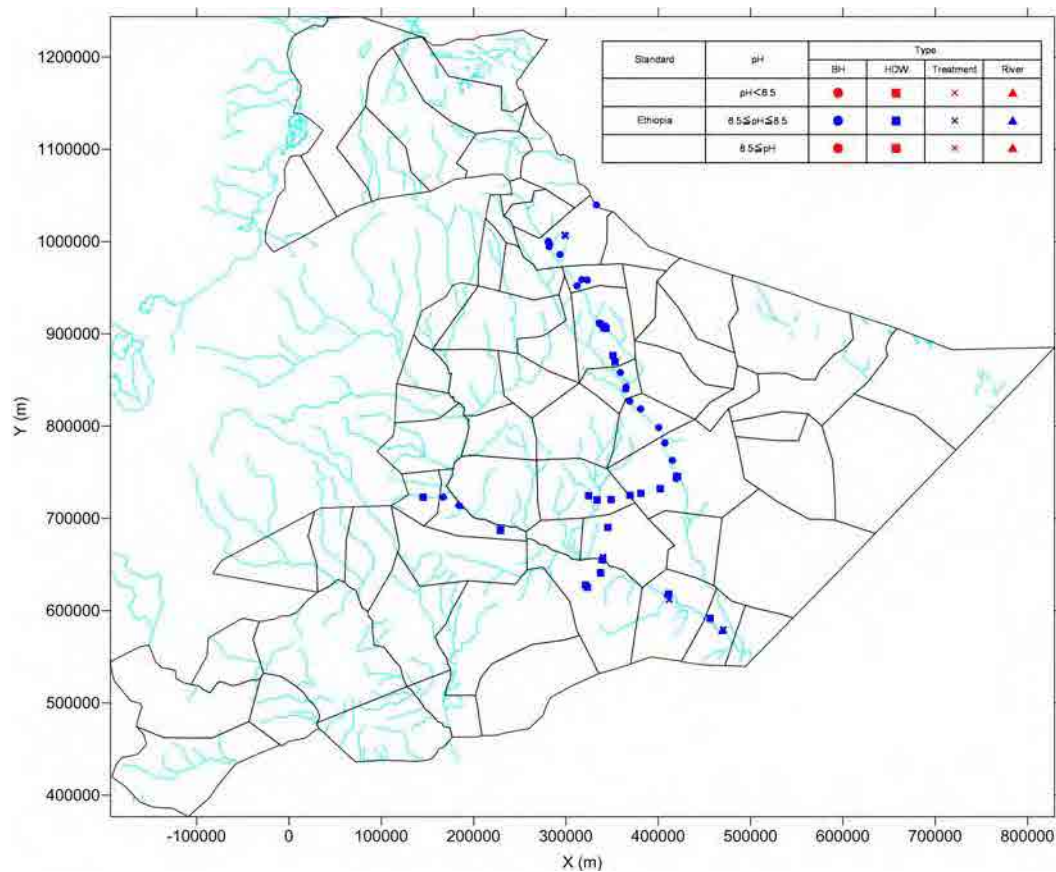


図 5.18: pH

a.8 塩素イオン (Cl)

塩素イオンの WHO 許容値は 250mg/l で、エチオピアの飲料水基準は 533mg/l である。ボアホール水では 30 サンプル中の 20 サンプル（67%）が WHO 許容値を越え、ダッグ・ウェル水では 20 サンプル（39 サンプルの 51%）が基準を満たしていない。河川水は 1 サンプルが 250mg/l を越え、処理水は 4 サンプルが WHO 許容値を満たしていない（図 5.19）。

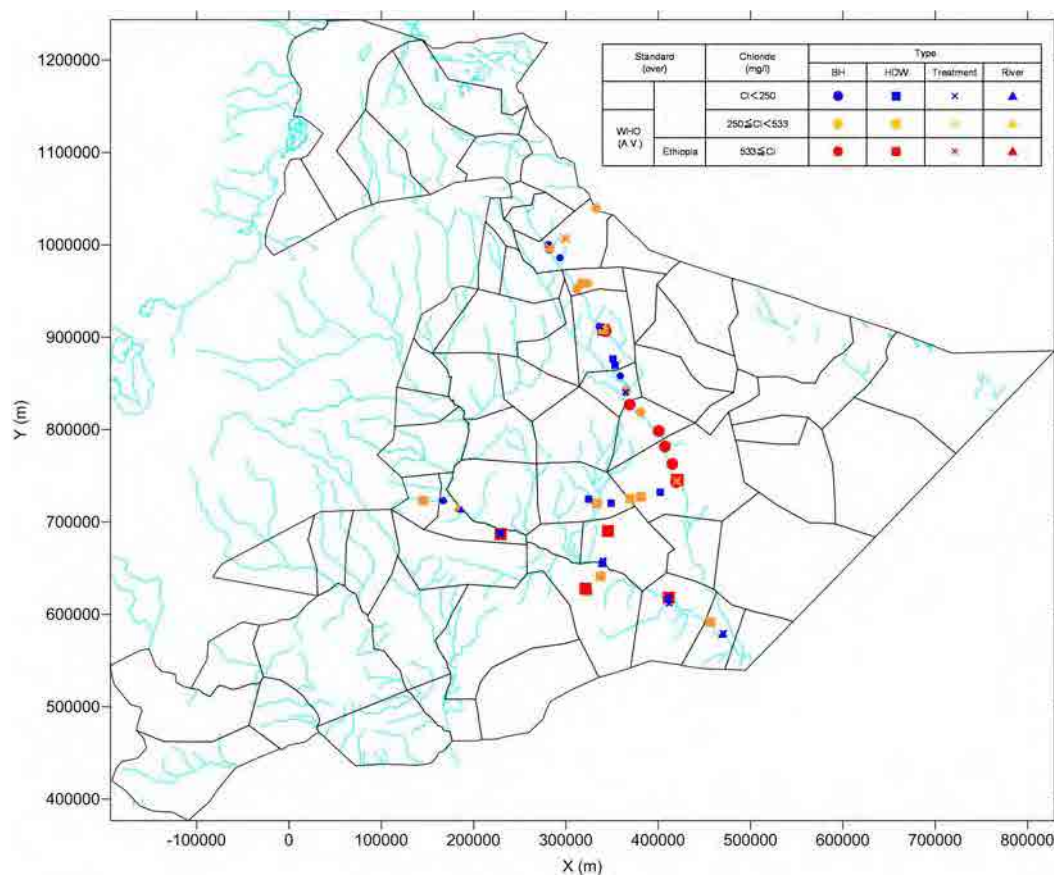


図 5.19: 塩素イオン濃度

a.9 ナトリウム (Na)

ナトリウムイオンの WHO 許容値は 200mg/l、エチオピアの飲料水基準は 358mg/l であり、ボアホール水の 4 サンプル（全サンプルの 14.29%）が WHO 許容値を越えるが、エチオピア基準以下ではある。ダッグ・ウェル水は 82.05% が WHO 許容値を満たし、河川水・処理水は全てのサンプルが両基準を満たしている（図 5.20）。

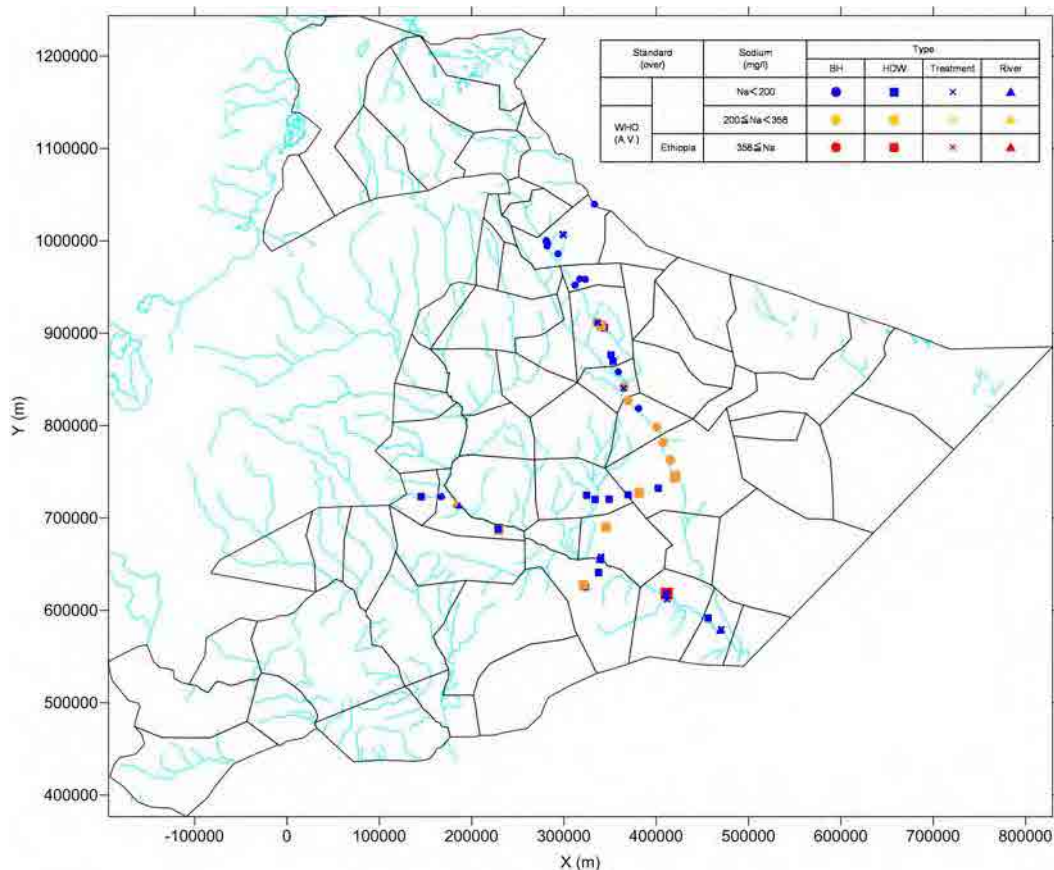


図 5.20: ナトリウムイオン濃度

a.10 マンガン (Mn)

マンガンイオンの WHO 許容値は 0.1mg/l（ガイドライン値は 0.4mg/l）で、エチオピアの飲料水基準は 0.13mg/l である。ボアホール水では 2 サンプル（Araarso 郡と Dagahbur 郡）が 0.13mg/l を越えて、ダッグ・ウェル水では 7 サンプルがエチオピア基準を満たしていない。河川水と処理水は共にマンガン濃度に問題はない（図 5.21）。

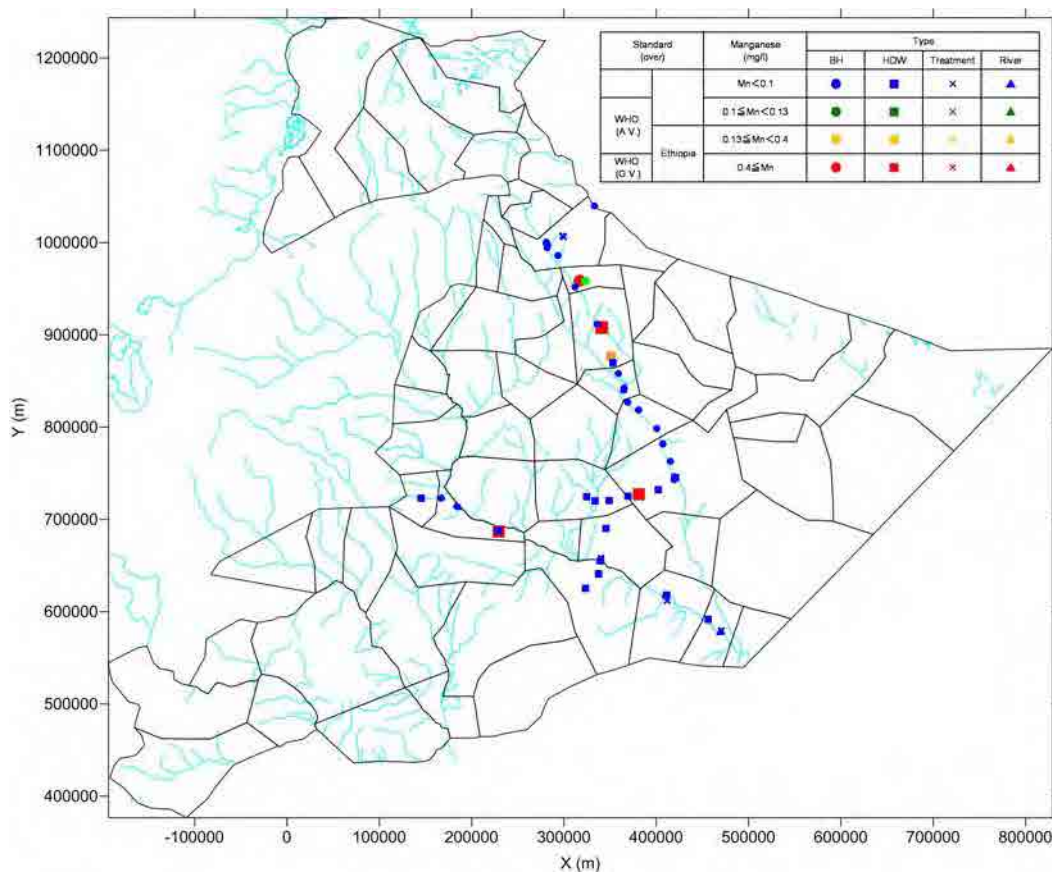


図 5.21: マンガンイオン濃度

a.11 鉄 (Fe) イオン

鉄イオンの WHO 許容値は 0.3mg/l で、エチオピアの飲料水基準は 0.4mg/l である。ボアホール水では 6 サンプルが 0.3mg/l を越えて、ダグ・ウェル水では 5 サンプルが WHO 許容値を満たしていない。河川水は全サンプルの 65% しか WHO 許容値を満たさない（20 サンプル中 7 サンプルが許容値を超える）。処理水は鉄イオン濃度に問題はない（図 5.22）。

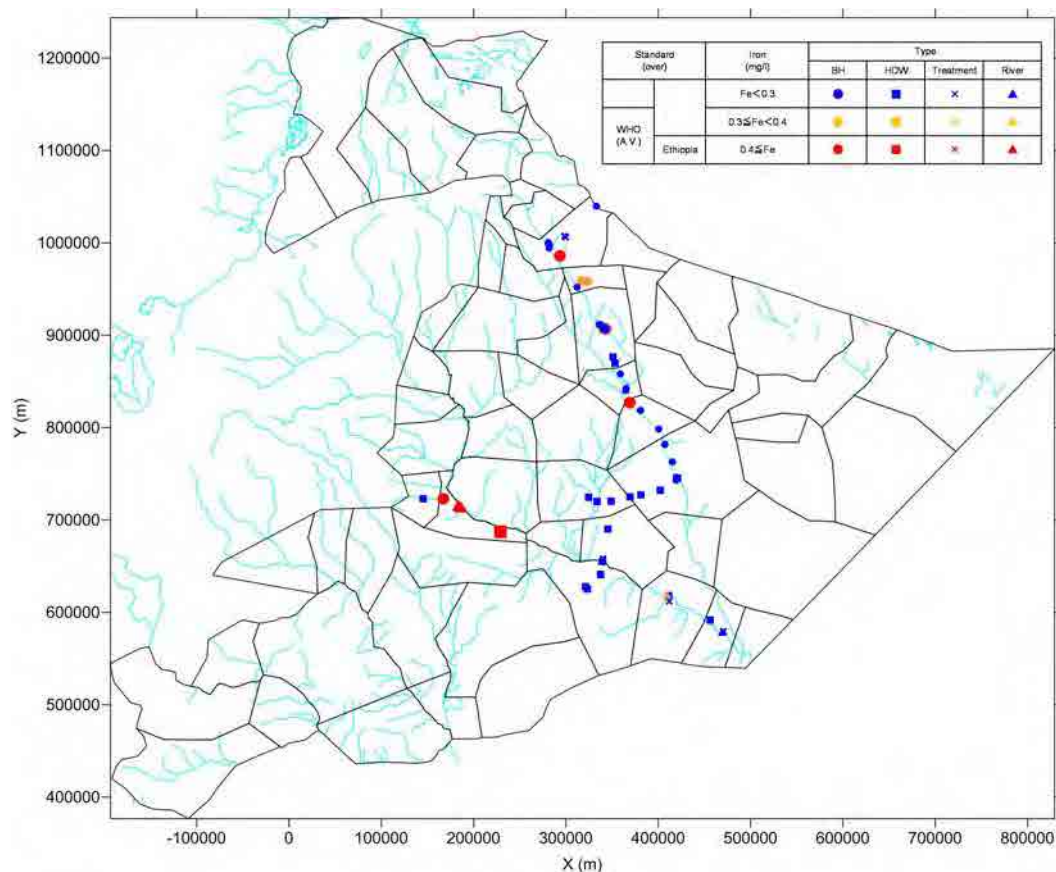


図 5.22: 鉄イオン濃度

a.12 全硬度 (CaCO₃)

全硬度はエチオピアの飲料水基準が392mg/lの許容値を設けている。ボアホール水の2サンプル (30サンプル中の7%) のみがエチオピア基準を満たし、ダッグ・ウェル水は全サンプルがエチオピア基準を超えている。河川水は5サンプルが392mg/l以下で、処理水は29%のみがエチオピア基準を満たしている (図 5.23)。

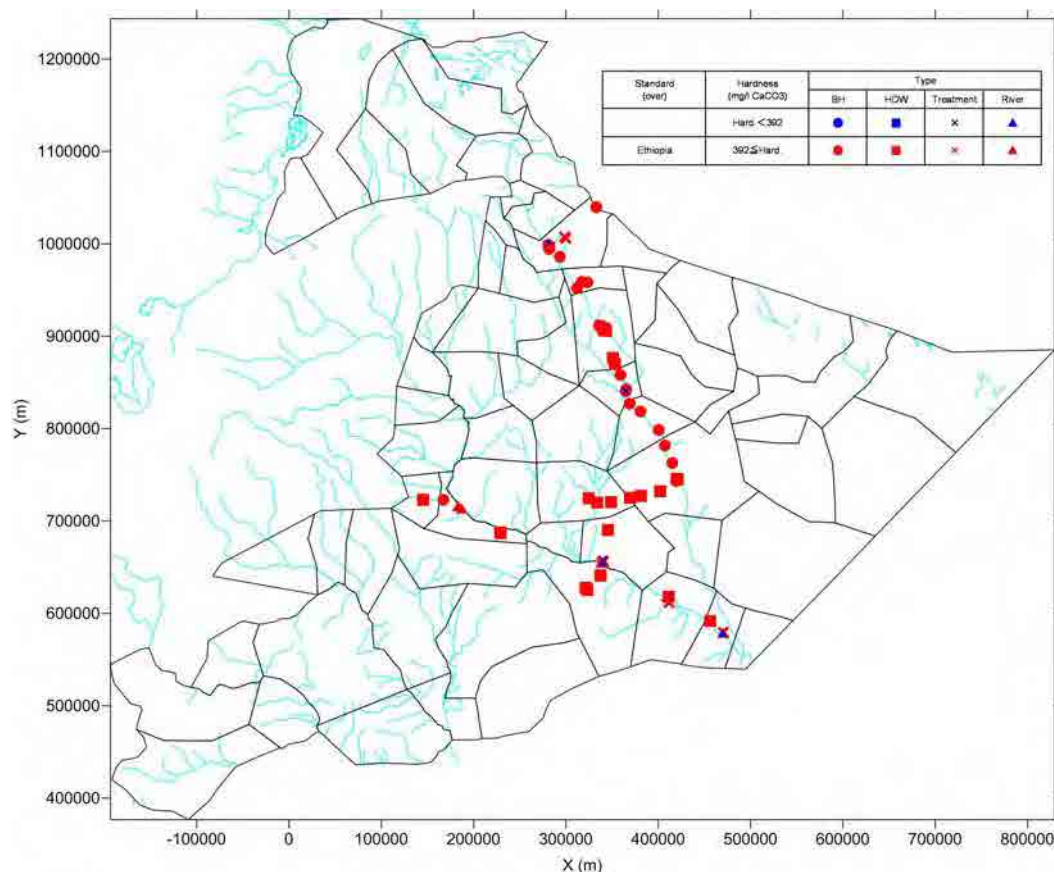
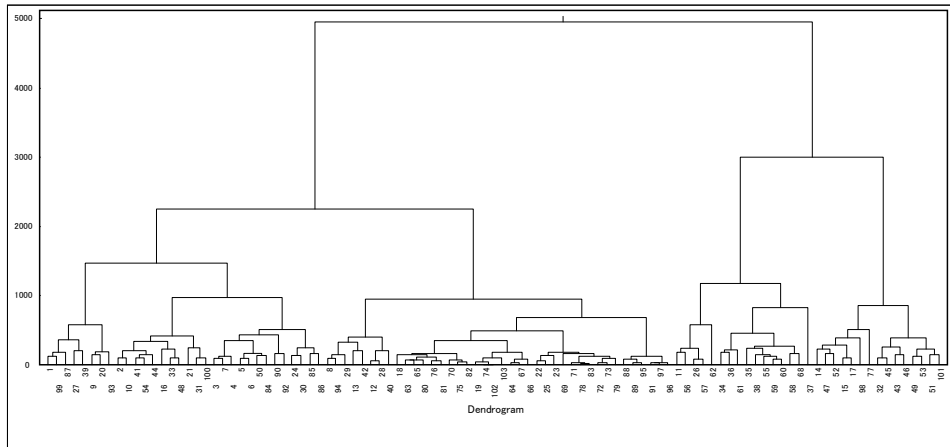


図 5.23: 全硬度

5.4.2 クラスタ解析の評価と解釈

主要イオン (Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO₃, SO₄, NO₃) を用いたクラスタ解析結果を以下の図 5.24及び図 5.25に示す。

また、より詳細な分類結果 (水源毎のクラスタ、各クラスタの分布) は添付資料に示す。



Average Value

Max. Cluster
 Min. Cluster

	Cluster-1	Cluster-2	Cluster-3	Cluster-4	Cluster-5	Cluster-6	Cluster-7	Cluster-8	Cluster-9	Cluster-10
Ca ²⁺	778.800	539.636	273.354	170.500	297.275	1203.84	1300.00	1235.20	770.743	788.200
K ⁺	10.855	12.660	16.554	6.836	4.363	18.766	11.850	7.950	27.549	22.928
Na ⁺	92.156	165.205	135.713	112.004	45.604	185.780	86.588	135.060	318.323	264.081
Mg ²⁺	168.433	170.809	173.262	119.400	86.221	171.332	143.936	149.520	198.844	192.204
Cl ⁻	226.250	417.273	356.923	65.750	58.125	536.000	122.500	140.000	967.857	678.125
SO ₄ ²⁻	180.000	168.555	164.600	161.338	155.047	156.480	163.500	97.500	159.757	185.075
HCO ₃ ⁻	156.325	244.064	192.423	350.850	133.441	146.400	195.230	793.206	217.457	320.338
NO ₃ ⁻	0.208	0.606	0.388	0.436	0.933	2.166	3.425	0.092	0.619	2.045
Water	1 JV001	2 JV002	3 JV003	8 JV006a	18 JV017	11 JV011	34 JV033	37 JV036	14 JV013	32 JV031
Sample No.	9 JV009	10 JV010	4 JV004	12 JV012	19 JV018	26 JV025	35 JV034		15 JV014	43 JV042
and	20 JV019	16 JV015	5 JV005	13 JV012a	22 JV021	56 JV055	36 JV035		17 JV016	45 JV044
Code	27 JV026	21 JV020	6 JV006	28 JV027	23 JV022	57 JV056	38 JV037		47 JV046	46 JV045
Referred to	39 JV038	31 JV030	7 JV007	29 JV028	25 JV024	62 SB005	55 JV054		52 JV051	49 JV048
Table 5.1	87 SB030	33 JV032	24 JV023	40 JV039	63 SB006		58 SB001		77 SB020	51 JV050
	93 SB036	41 JV040	30 JV029	42 JV041	64 SB007		59 SB002		98 SB041	53 JV052
	99 SB042	44 JV043	50 JV049	94 SB037	65 SB008		60 SB003			101 SB044
		48 JV047	84 SB027		68 SB009		61 SB004			
		54 JV053	85 SB028		67 SB010		68 SB011			
		100 SB043	86 SB029		69 SB012					
			90 SB033		70 SB013					
			92 SB035		71 SB014					
					72 SB015					
					73 SB016					
					74 SB017					
					75 SB018					
					76 SB019					
					78 SB021					
					79 SB022					
					80 SB023					
					81 SB024					
					82 SB025					
					83 SB026					
					88 SB031					
					89 SB032					
					91 SB034					
					95 SB038					
					96 SB039					
					97 SB040					
					102 JICA BH1					
					103 JICA BH2					

図 5.24: 主要イオンを用いたクラスター解析結果

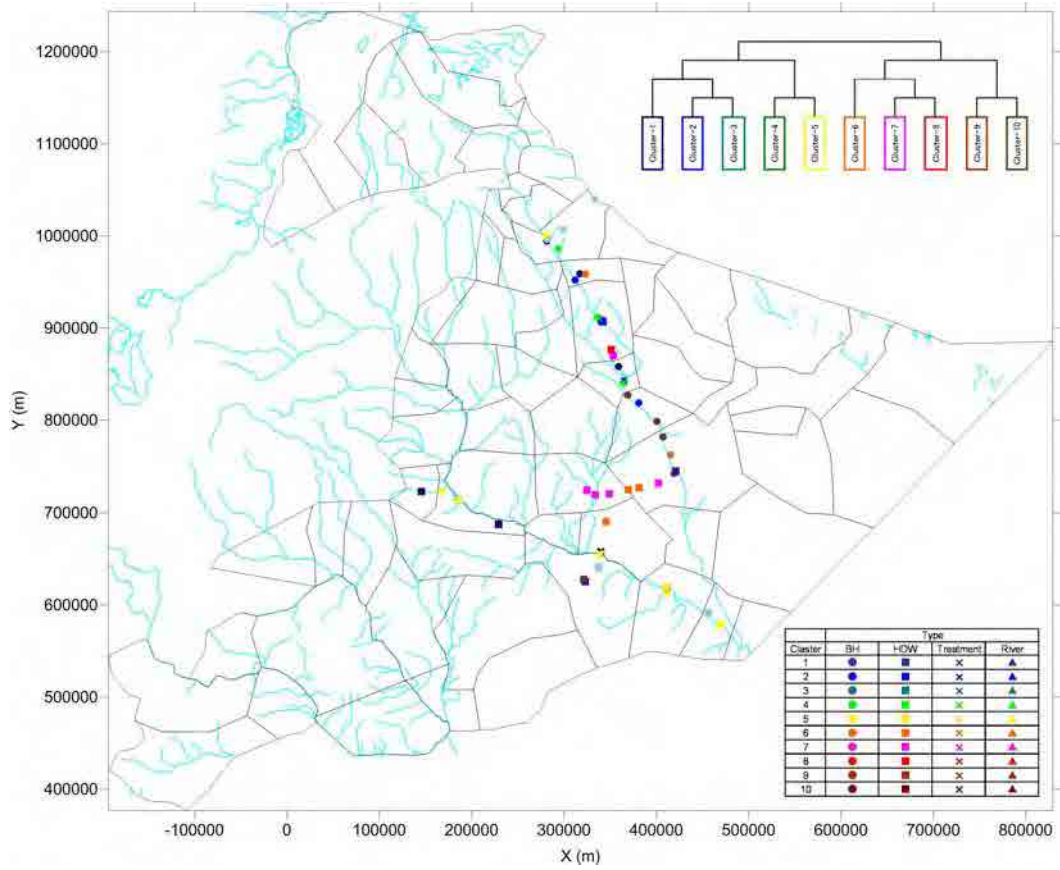


図 5.25: クラスター分布(全データ)

6. 地下水利用可能性 評価図

6 地下水利用可能性評価図

6.1 帯水層評価の凡例と考え方

本調査においては、対象地域に分布する帯水層を、①湧出能力及び地下水位と②水質の両面から分類した。

a. 湧出能力及び地下水位

湧出能力の観点から、層相や既存水理地質図に基づいて帯水層を以下のように三分類した。また、Jessoma 砂岩層の湧出量は大きいと地下水位が低いことから（対象地域東端付近では、地下水位が深度 500～600m に達する）、Jessoma 砂岩層の湧出能力は低いものとした。

- 中～高湧出能力（medium－high productivity）：揚水量が 3 l/sec より多い。
- 低～中湧出能力（low－medium productivity）：揚水量が 1 l/sec 以上、3 l/sec 以下。
- 低湧出能力（low productivity）：揚水量が 1 l/sec 未満。

b. 水質

各帯水層の層相、既存水理地質図、水質分析結果に基づいて、帯水層を下記のように三分類した。

- 優良～良（Excellent～Good）：全くあるいはほとんど石膏層類を挟在しない（TDS が 750mg/l 以下程度）。
- 一部悪（Partly poor）：部分的に石膏層類を挟在する（TDS が 750mg/l～3,000mg/l 程度）。
- 劣悪（Poor）：全層準に広く石膏層類が分布する（TDS が 3,000mg/l 以上、第四系の一部（シェベレ川流域）では 10,000mg/l を超過する）。

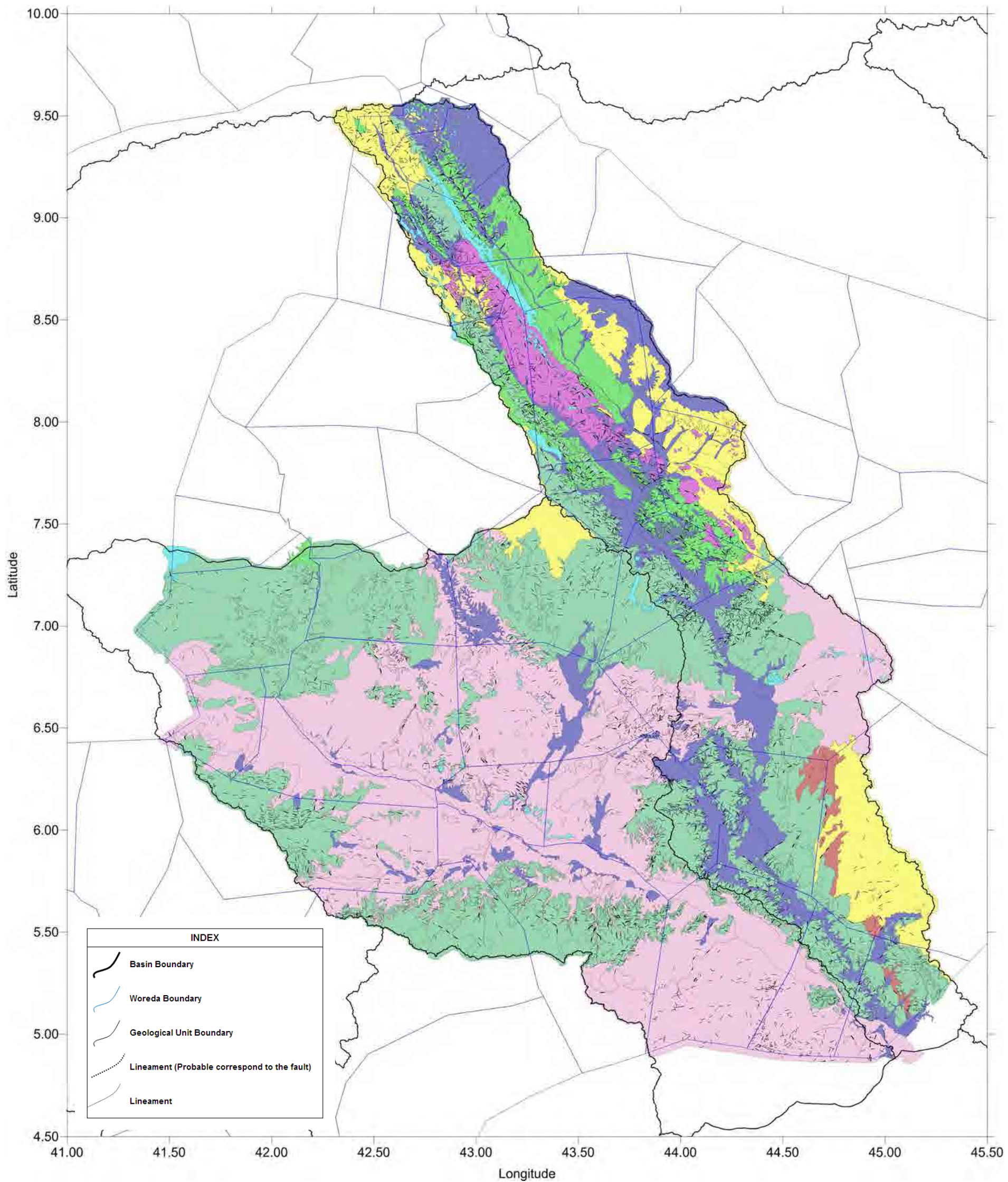
c. 帯水層評価

上記した「湧出能力及び地下水位」の評価と「水質」の評価を組み合わせ、表 6.1 に示すような帯水層評価分類を行った。

なお、第四系（Qa）の水質は一般的には良好であるが、シェベレ川本流に分布する第四系は塩分を含んで劣悪なため、その下位に分布する Korahe 層（Kg）と同評価とした。

表 6.1: 帯水層ポテンシャル区分表

Geological Classification	Yield (l/sec.)	Water Quality
Qa, r Ja	Medium - High: More than 3l/sec.	Excellent - Good: TDS Less than 750mg/l.
Qc, Qb, Qv	Low - Medium: 1 - 3l/sec.	Excellent - Good: TDS Less than 750mg/l.
Pj, PC	Poor - Low: Less than 1l/sec.	Excellent - Good: TDS Less than 750mg/l.
Km, Jh	Medium - High: More than 3l/sec.	Partly Poor: TDS from 750 - 3,000mg/l.
Kb, Ka, Jg	Low - Medium: 1 - 3l/sec.	Partly Poor: TDS from 750 - 3,000mg/l.
Ju	Poor - Low: Less than 1l/sec.	Partly Poor: TDS from 750 - 3,000mg/l.
Kg	Low - Medium: 1 - 3l/sec.	Poor: TDS from 3,000 - 10,000mg/l.
Kf	Poor - Low: Less than 1l/sec.	Poor: TDS from 3,000 - 10,000mg/l.



(帯水層ポテンシャルの色は表 6.1 を参照)

図 6.1: 帯水層ポテンシャル分布

6.2 図面と利用方法（解説）

以下に、給水計画マスタープラン（M/P）作成対象の郡の水資源（地下水）利用可能評価図、水資源（地下水）利用可能評価断面図と井戸掘削情報を示す。

地下水利用可能性評価図には帯水層単元の評価（表 6.1）と表 6.2 の情報を含み、地下水利用可能性評価断面図には帯水層単元の評価と表 6.3 の情報を含んでいる。

これらを総合的に評価することが、水資源（地下水）の利用計画の基礎資料となる（第2巻給水計画参照）。

表 6.2: 地下水利用可能性評価図の凡例


















INDEX	
 Basin Boundary	 Successful Well
 Woreda Boundary	 Abandoned Well (Dry and Low Yield)
 Town/Village	 Abandoned Well (Bad Water Quality)
 Landform & Geological Boundary	 Abandoned Well (Failure of Construction)
 Lineament	 Abandoned Well (Unknown Reasons)
 Profile line	 Oil Well
	 Insufficient Information Well

表 6.3: 水資源（地下水）利用可能性評価断面図の凡例

INDEX	
 Topographic Profile	 Geological Columnar Section
 Geological Boundary	L.Y. Low Yield
 Probable Fault	B.W.Q. Bad Water Quality

a. ジャラル溪谷

a.1 Kabribeyah woreda

Kabribeyah 郡の地下水利用可能性評価図を図 6.2、地下水利用可能性評価断面図を図 6.3 及び図 6.4 に、井戸掘削情報を表 6.4 に示す。

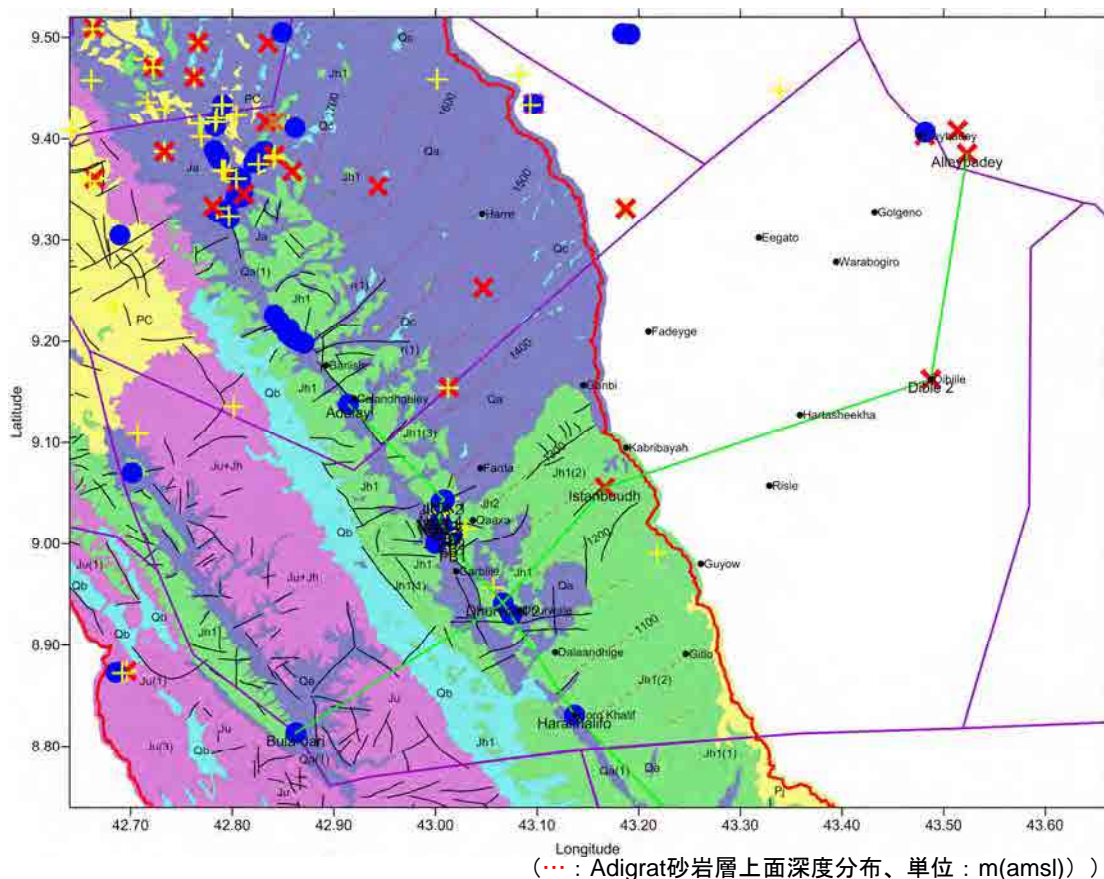


図 6.2: Kabribeyah 郡の地下水利用可能性評価図

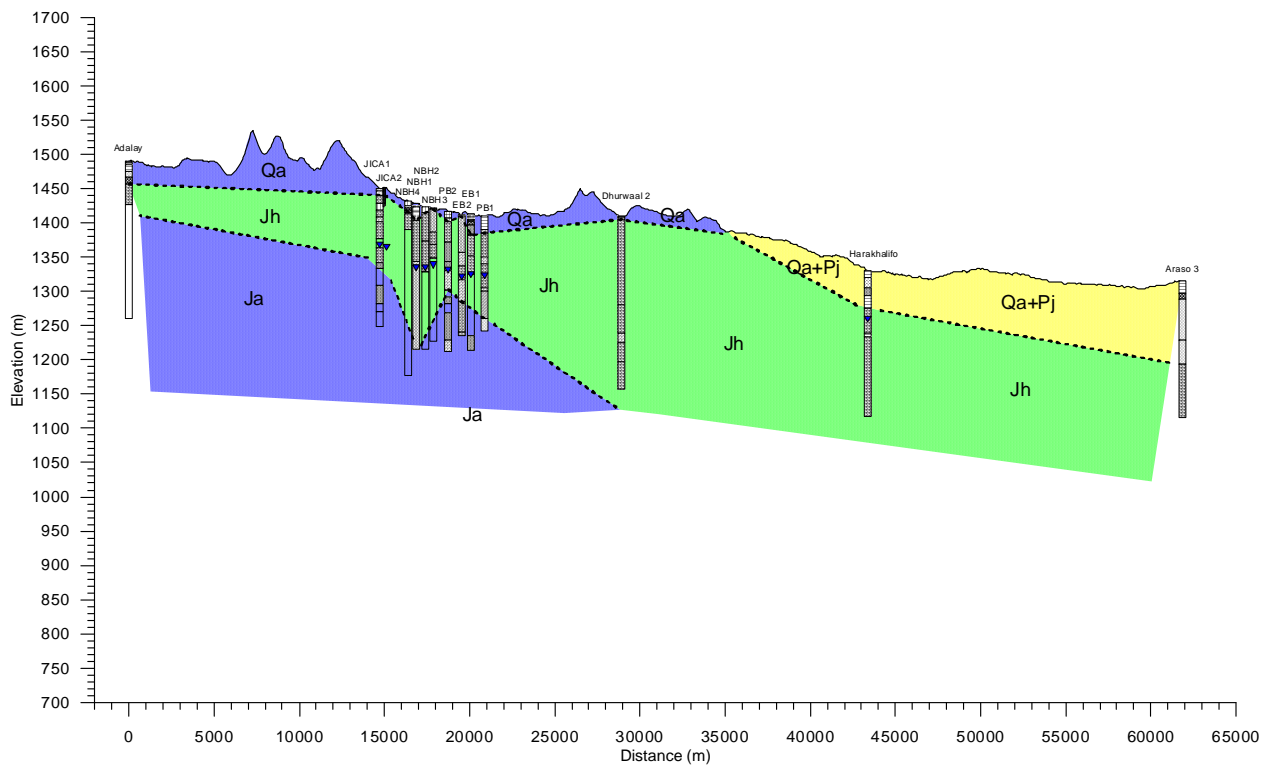


図 6.3: Kabribeyah 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川に並行)

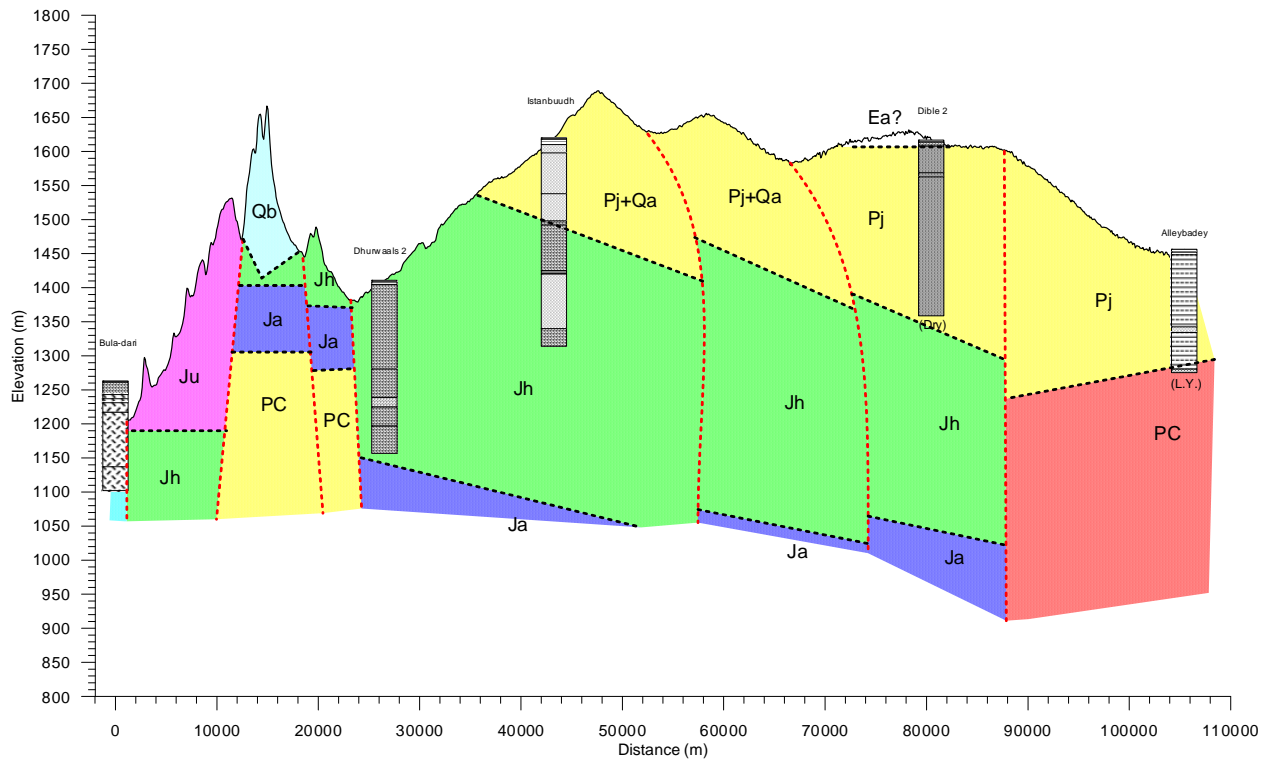


図 6.4: Kabribeyah 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川を横断)

表 6.4: Kabribeyah 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸 タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸 柱状図
Allaybadey BH	43.5137	9.4080	336799	1040216	1475	-	203	175	-	-	2003	-	A (L.Y.)	○
Alleybadey (Damerjoog)	43.4817	9.4064	333286	1040046	1472	BH	250	-	-	-	-	-	S	○
Aleybadey (1)	43.4814	9.4031	333252	1039691	1463	BH	250	-	-	-	2000	Waheen-	A (L.Y.)	-
Aleybadey (2)	43.5231	9.3853	337823	1037695	1456	BH	181	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	○
Dibile	43.4875	9.1625	333808	1013075	1618	BH	258	-	-	-	1995	EWWCA	A (Dry)	○
Istanbuudh	43.1665	9.0556	298467	1001411	1619	BH	306	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	○
Farda	43.0129	9.0445	281572	1000278	1451	BH	180	85	-	-	2005	Waheen	S	○
JICA-No-1	43.0087	9.0436	281111	1000180	1450	BH	200	85.23	32.5	6.5	2012	JICA	S	○
JICA-No-2	43.0054	9.0420	280743	1000004	1452	BH	200	88.40	17.65	5.4	2012	JICA	S	○
NBH-5	43.0091	9.0367	281148	999416	1442	BH	-	-	-	-	-	-	-	-
NBH-4	43.0052	9.0307	280716	998755	1432	BH	255	-	-	-	-	-	-	○
NBH-1	43.0028	9.0270	280449	998348	1428	BH	212	-	-	-	-	-	-	○
NBH-2	43.0045	9.0228	280634	997876	1423	BH	208	-	-	-	-	-	-	○
NBH-3	43.0062	9.0190	280818	997455	1422	BH	195	-	-	-	-	-	-	○
Qaaxo	43.0292	9.0157	283346	997084	1470	BH	220	84	-	-	2000	Waheen	S	-
Qaaxo (PB2)	43.0117	9.0128	281423	996766	1417	BH	-	-	-	-	-	-	S	○
Qaaxo (EB2)	43.0159	9.0073	281874	996159	1413	BH	177.5	-	-	-	-	-	S	○
Qaaxo (EB1)	43.0168	9.0022	281973	995591	1413	BH	200	-	-	-	-	-	S	○
Qaaxo (PB1)	43.0172	8.9951	282019	994809	1410	BH	186.5	-	-	-	-	-	S	○
Aranadka	43.2182	8.9908	304116	994222	1615	BH	292	-	-	-	-	-	S	○
Xaaxi	43.0570	8.9564	286358	990509	1446	BH	250	-	-	-	-	-	-	-
Dhurwaale 2	43.0665	8.9417	287405	988876	1411	BH	254	-	-	-	-	-	-	○
Dhurwaale 1	43.0665	8.9417	287405	988876	1420	BH	235	92	-	-	2004	Whaean	S	-
Horakhalifo	43.1367	8.8310	295065	976594	1330	BH	212	70	-	-	2004	WRDB	S	-
Hiley	43.6289	7.6056	348747	840854	849	BH	-	-	-	-	2000	Rabah	A (L.Y.)	○
PB3	43.0000	9.0000	280125	995362	1432	-	267	77.4	-	-	1992	-	S	○
Buladari	42.8625?	8.8137?	264883?	974836?	1272	BH	161	-	-	-	-	-	S	○
Gebigebo	42.7069?	9.1087?	247968?	1007580?	1476	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Horahowd	42.7015?	9.0701?	247342?	1003310?	1364	BH	-	-	-	-	-	-	S	-

* S: Successful, A: Abandoned, L.Y.: Low yield

a.2 Araarso worda

Araarso 郡の地下水利用可能性評価図を図 6.5、地下水利用可能評性価断面図を図 6.6 及び図 6.7 に、井戸掘削情報を表 6.5 に示す。

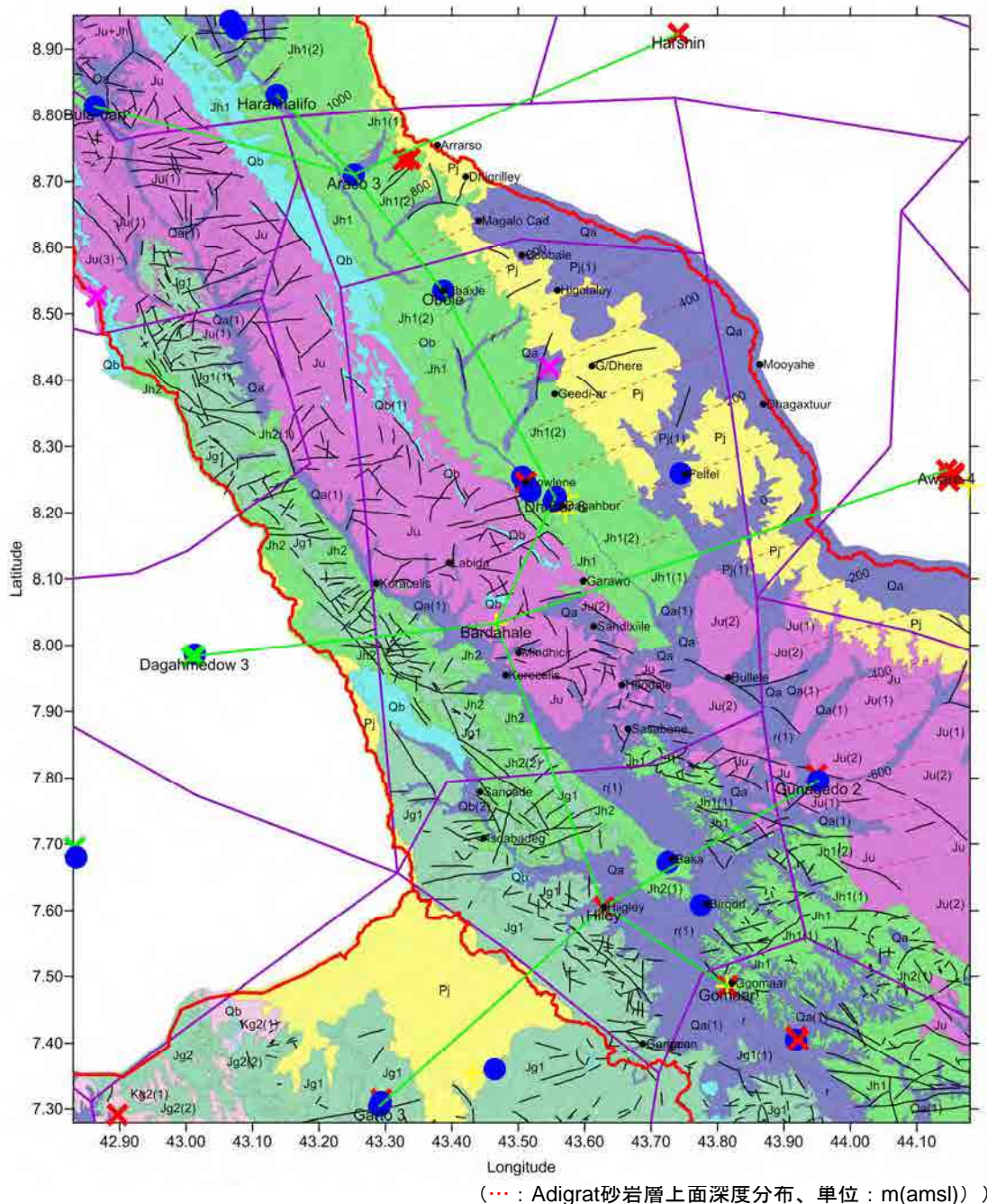


図 6.5: Araarso 郡、Dagahbur 郡、Birqod 郡の地下水利用可能性評価図

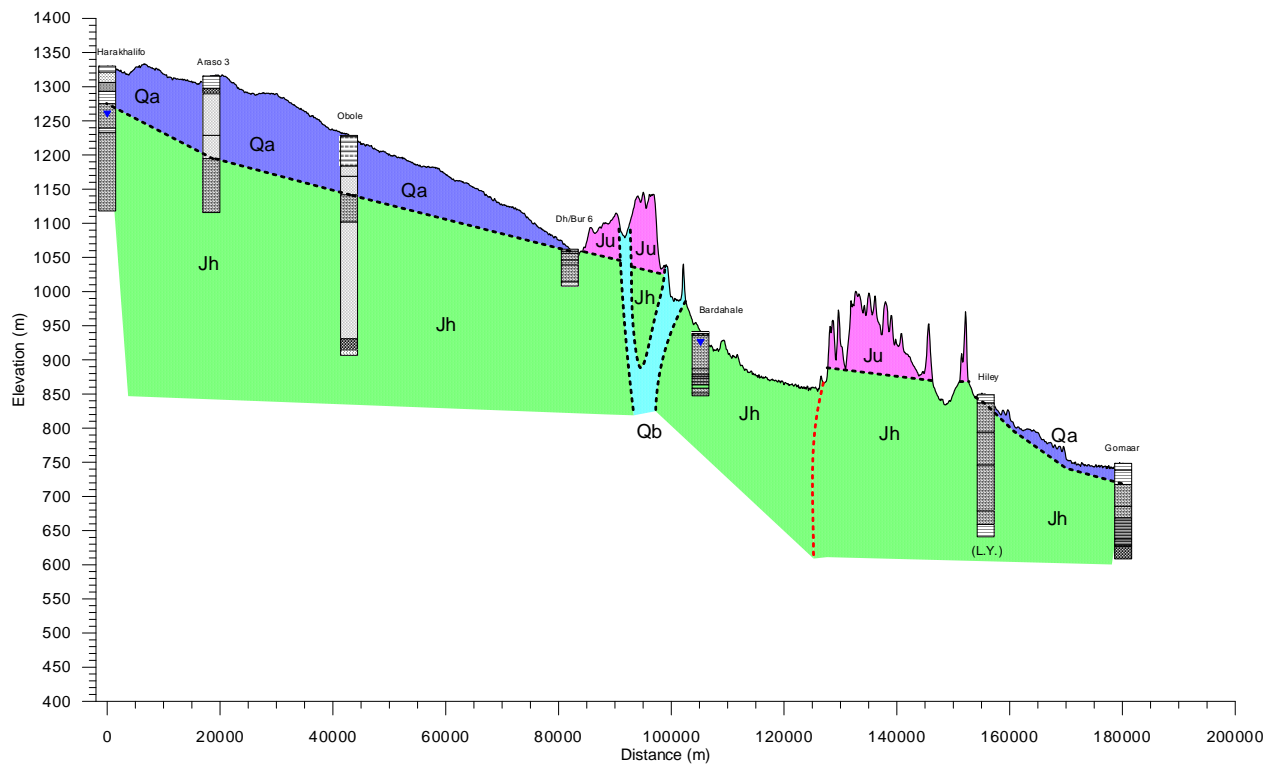


図 6.6: Araarso 郡—Dagahbur 郡—Birqod 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川に並行)

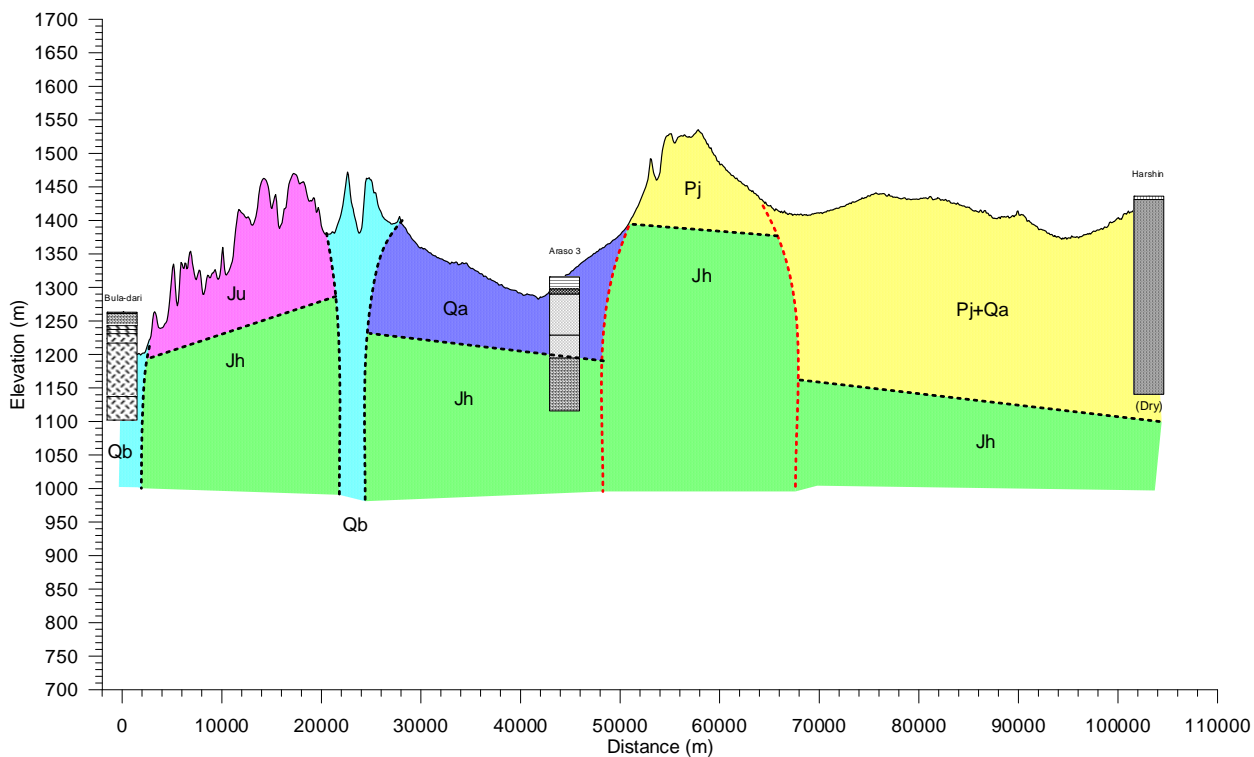


図 6.7: Araarso 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川を横断)

表 6.5: Araarso 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Araarso	43.3372	8.7341	317075	965765	1464	BH	-	-	-	-	1979	EWCA	A (L.Y.)	-
Araarso (2)	43.3372	8.7341	317075	965765	1464	BH	300	-	-	-	2002	WRDB	A (L.Y.)	-
Araarso 2	43.3273	8.7324	315985	965583	1448	BH	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Araarso 3	43.2526	8.7101	307754	963163	1316	BH	200	-	-	-	2005	Waheen	S	○

* S: Successful, A: Abandoned, L.Y.: Low yield

a.3 Dagahbur worda

Dagahbur 郡の地下水利用可能性評価図を図 6.5 に、地下水利用可能性評価断面図を図 6.6 及び図 6.8 に、井戸掘削情報を表 6.6 に示す。

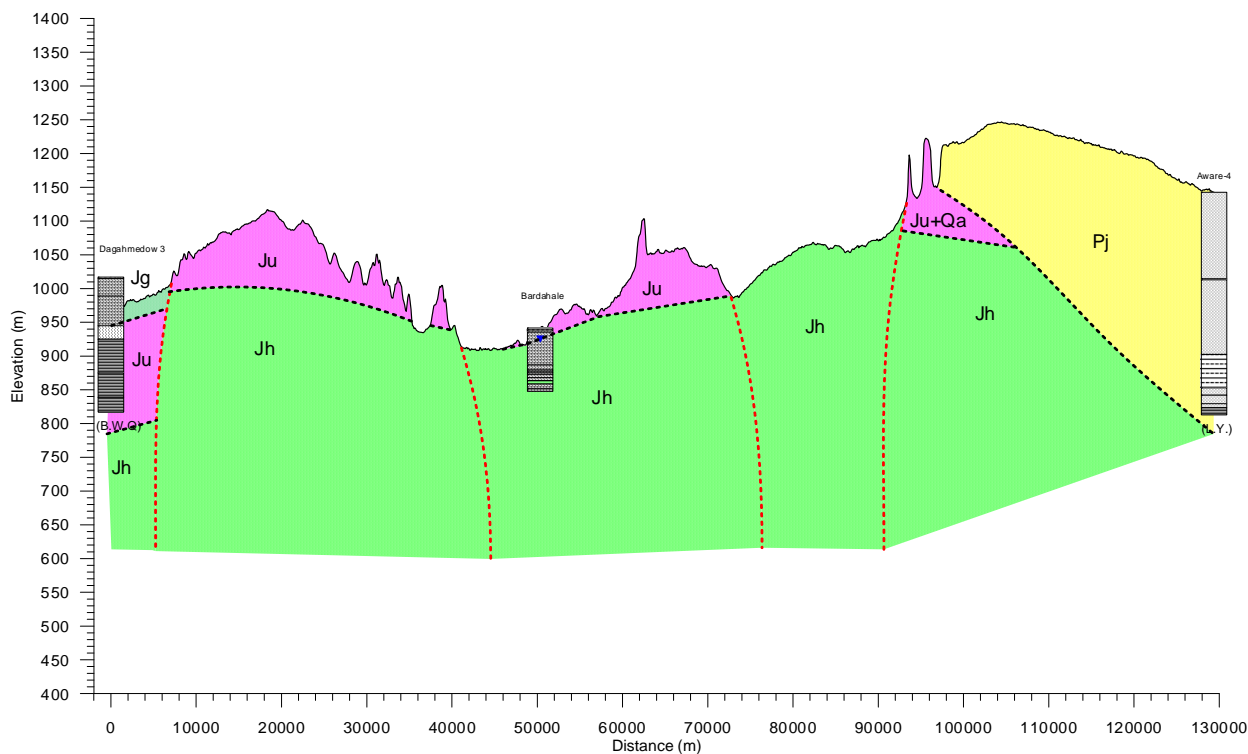


図 6.8: Dagahbur 郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川を横断)

表 6.6: Dagahbur 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸 タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸 柱状図
Obole	43.3869	8.5345	322451	943675	1229	BH	322	-	-	-	-	-	S	○
Falfal	43.7747	8.2598	361743	913153	1155	BH	-	-	-	-	-	EWWCA	S	-
Towlane 1	43.5060	8.2547	335445	912682	1078	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Towlane 8	43.5113	8.2467	446026	911789	1975	SW	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Towlane 2	43.5108	8.2537	335969	911462	1072	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Towlane 3	43.5167	8.2355	82355	336616	1073	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Towlane 9	43.5184	8.2338	336803	910360	1070	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Towlane 4	43.5176	8.2329	336714	910267	1069	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Daghabur 3	43.5744	8.2264	342969	909522	1077	BH	60	-	25	4	1962	EWRDA	S	-
Dh/Bur 7	43.5570	8.2242	341051	909292	1063	BH	-	-	-	10	1988EC	-	S	○
Daghabur 2	43.5643	8.2231	341855	909157	1067	BH	47	-	23	3	1962	EWRDA	S	-
Dh/Bur 6	43.5557	8.2230	340908	909151	1062	BH	54	-	-	-	1979EC	-	S	○
Dh/Bur 5	43.5535	8.2182	340663	908267	1052	BH	47	-	-	-	-	-	S	-
Daghabur 7	43.5543	8.2164	340751	908422	1049	BH	54	12	-	10	1996	WRDB	S	-
Daghabur 1	43.5643	8.2164	341853	908418	1060	BH	94	-	-	3	1980	EWWCA	S	-
Bardahale	43.4667	8.0333	331023	888218	942	-	94	16	58	3	-	-	-	○
D-bur town well	43.5715	8.1997	342644	906574	1033	-	50	-	-	-	2011	-	-	○
Higlalaye well	43.5472	8.4199	340051	930928	1252	-	104	-	-	-	2003(EC)	-	A (Collapse)	○

* S: Successful, A: Abandoned, L.Y.: Low yield

a.4 Birqod woreda

Birqod 郡の地下水利用可能性評価図を図 6.5 に、地下水利用可能性評価断面図を図 6.6 及び図 6.9 に、井戸情報を表 6.7 に示す。

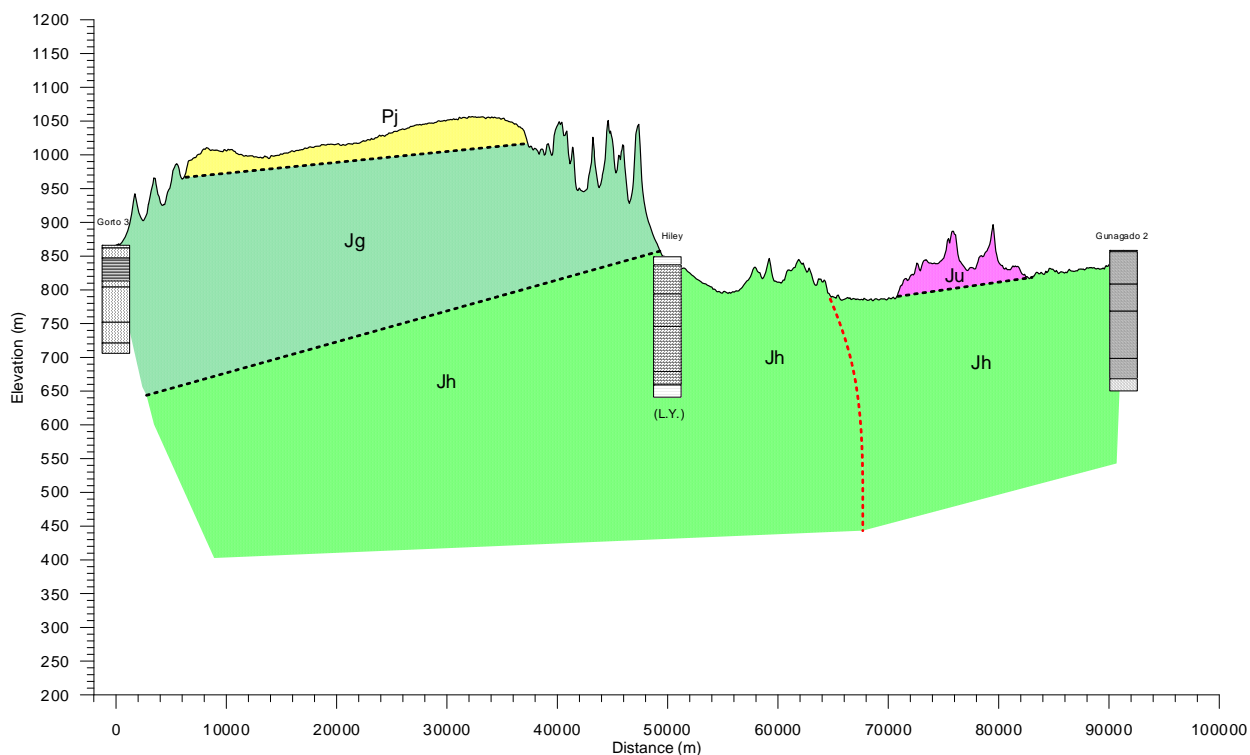


図 6.9: Birqod 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川を横断)

表 6.7: Birqod 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Baka	43.7245	7.6728	359317	848252	809	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
Birqot	43.7748	7.6085	364846	841133	764	BH	-	-	-	-	1970	EWWCA	S	-
Hiley	43.6289	7.6056	348747	840854	849	BH	-	-	-	-	2000	Rabah	A (L.Y.)	○

* S: Successful, A: Abandoned, L.Y.: Low yield

a.5 Shaygosh woreda

Shaygosh 郡の地下水利用可能性評価図を図 6.10 に、地下水利用可能性評価断面図を図 6.11 及び図 6.12 に、井戸情報を表 6.8 に示す。

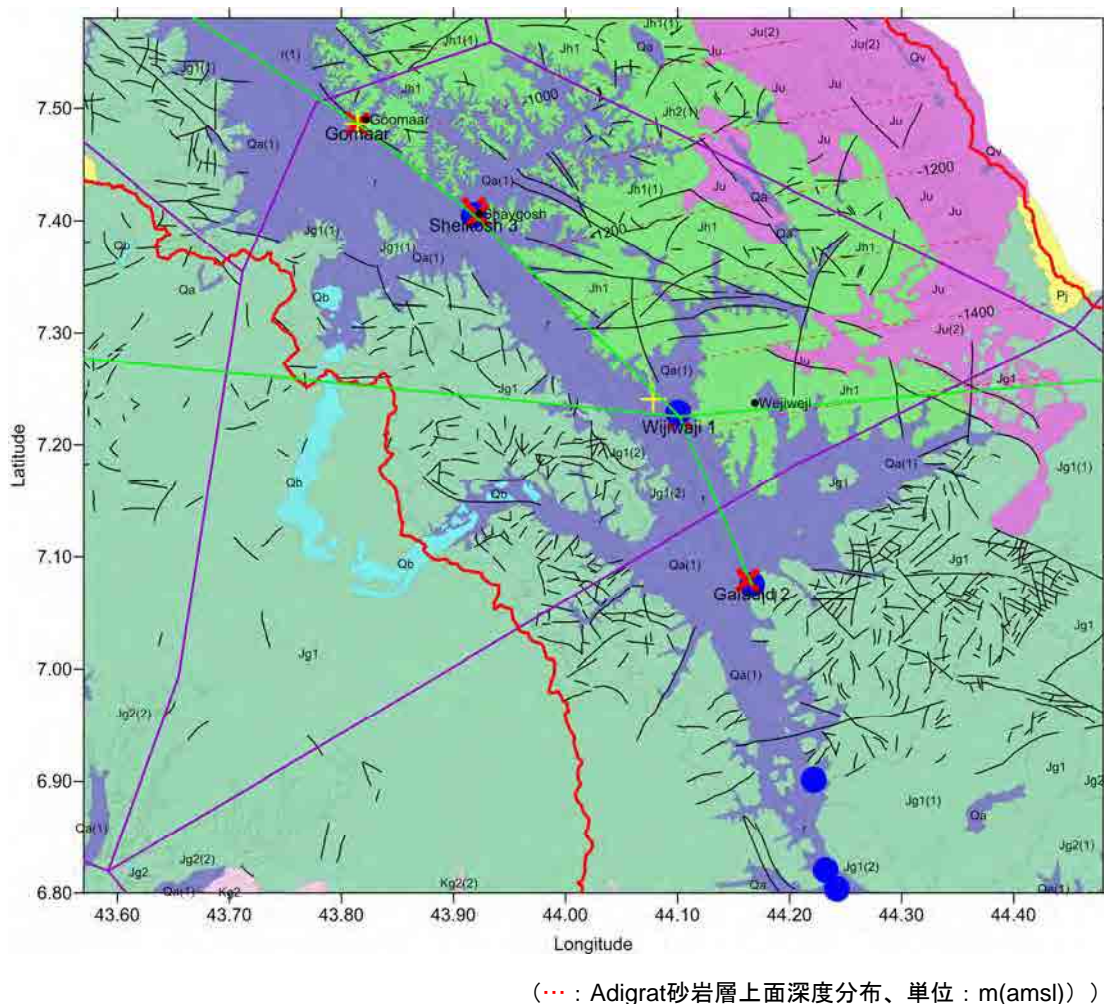


図 6.10: Shaygosh 郡の地下水利用可能性評価図

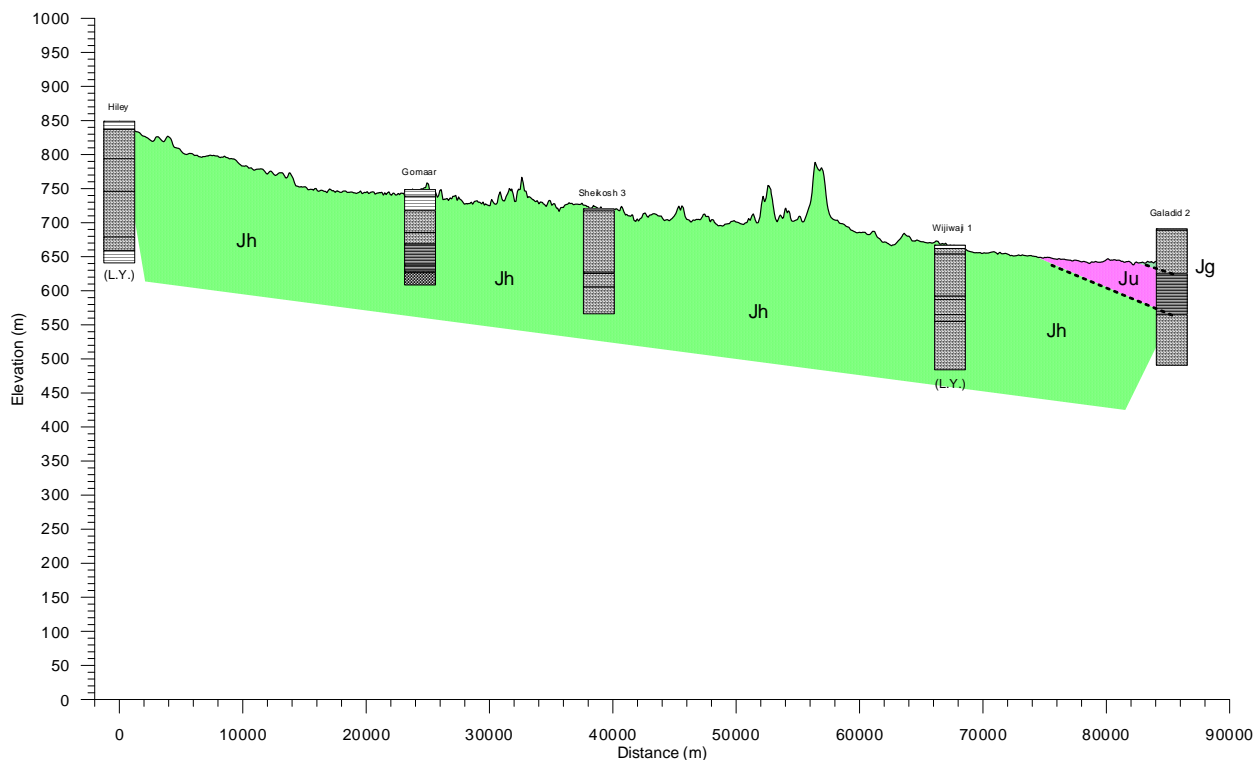


図 6.11: Shaygosh 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川に並行)

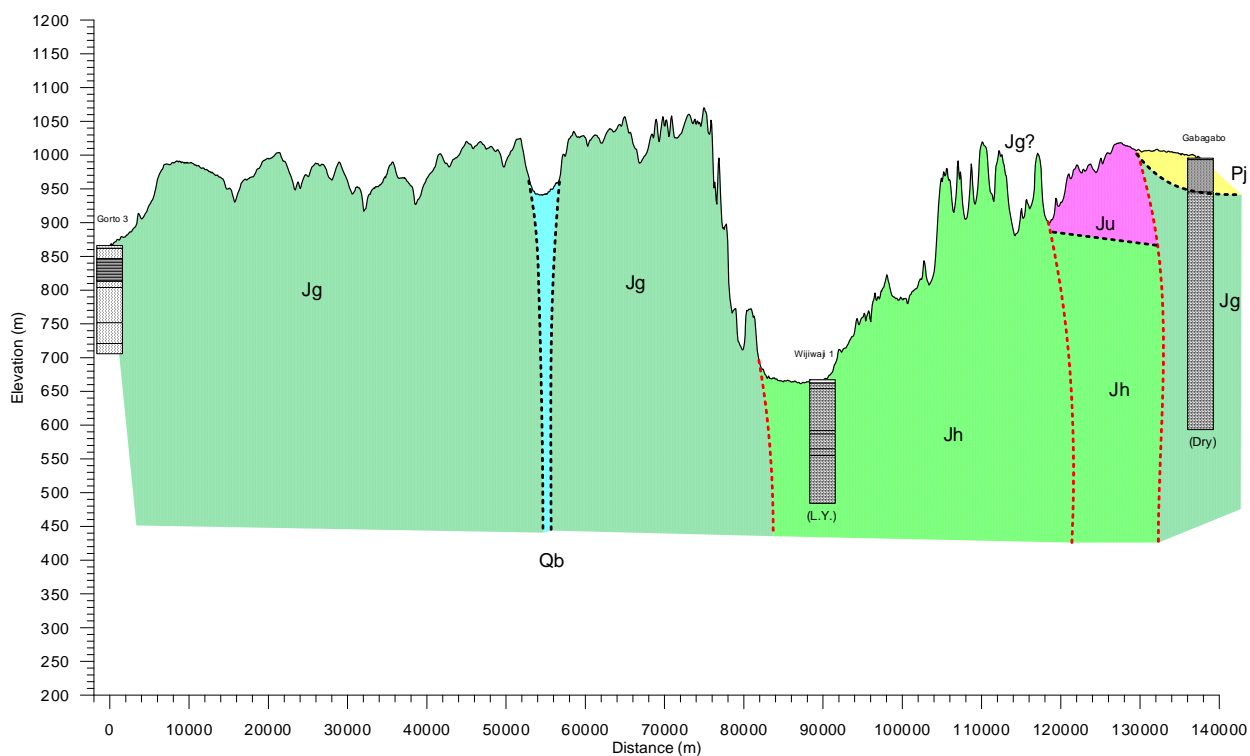


図 6.12: Shaygosh 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川を横断)

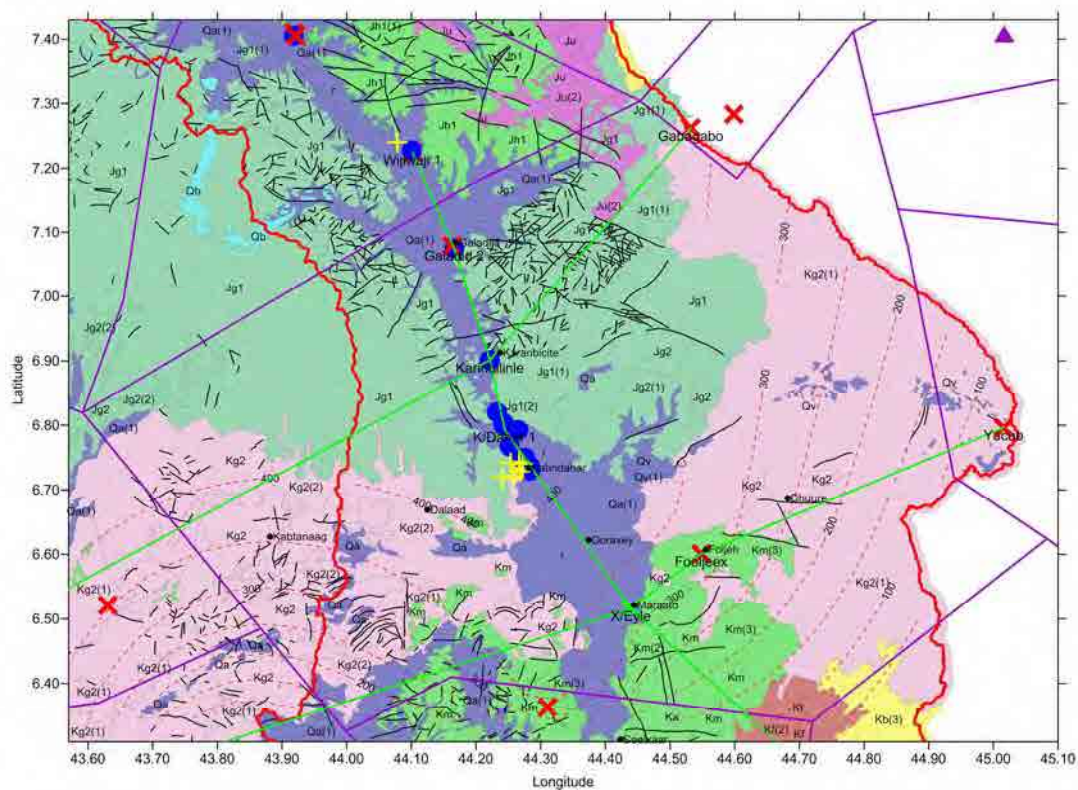
表 6.8: Shaygosh 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Gomaar	43.8144	7.4858	369178	827551	749	BH	140	120	-	-	2003	Rabah	A (L.Y.)	○
GOMER	43.8144	7.4858	369178	827551	749	BH	242	-	-	-	-	-	-	○
Sheikosh 2	43.9180	7.4104	380590	819190	726	BH	140.5	-	-	-	1999	EWWCA (WRDB)	A (L.Y.)	○
Sheikosh 3	43.9180	7.4052	380589	818614	720	BH	154	-	-	-	1999	EWWCA (WRDB)	S	○
Sheikosh 4	43.9213	7.4051	380953	818596	722	BH	140.5	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	○
Maskar	43.4317	7.3539	326889	813099	992	-	-	-	-	-	-	EWWCA	-	-
Masker Well No1	44.0783	7.2403	398244	800343	673	BH	183	76.92	-	-	1980EC	-	-	○
Wijiwaji 1	44.1018	7.2247	400832	798616	667	BH	183	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	○
Wijiwaji 2	44.1004	7.2281	400681	798989	673	BH	-	-	-	-	-	EWWCA	S	-

* S: Successful, A: Abandoned, L.Y.: Low yield

a.6 Kabridahar woreda

Kabridahar 郡の地下水利用可能性評価図を図 6.13 に、地下水利用可能性評価断面図を図 6.14 から図 6.16 に、井戸掘削情報を表 6.9 に示す。



(... : Korhae石膏層下面深度分布、単位 : m(ams))

図 6.13: Kabridahar 郡の地下水利用可能性評価図

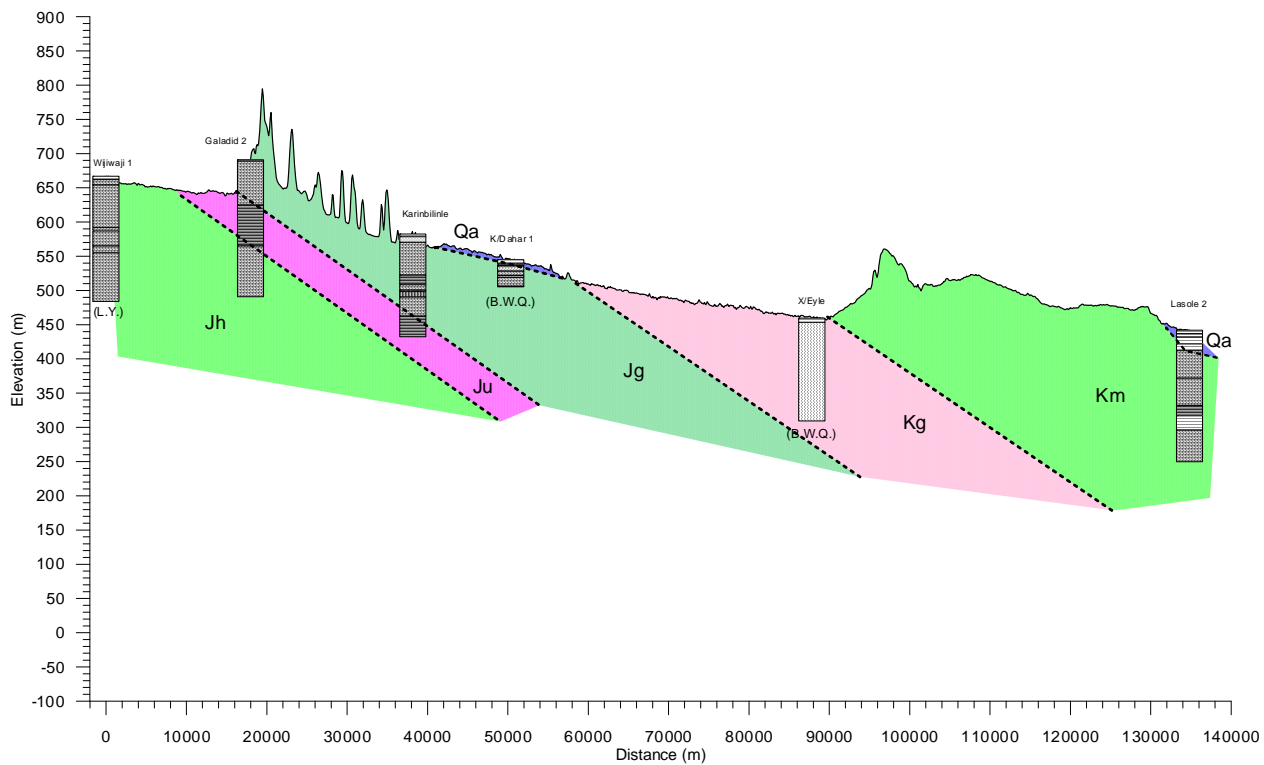


図 6.14: Kabridahar 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川に並行)

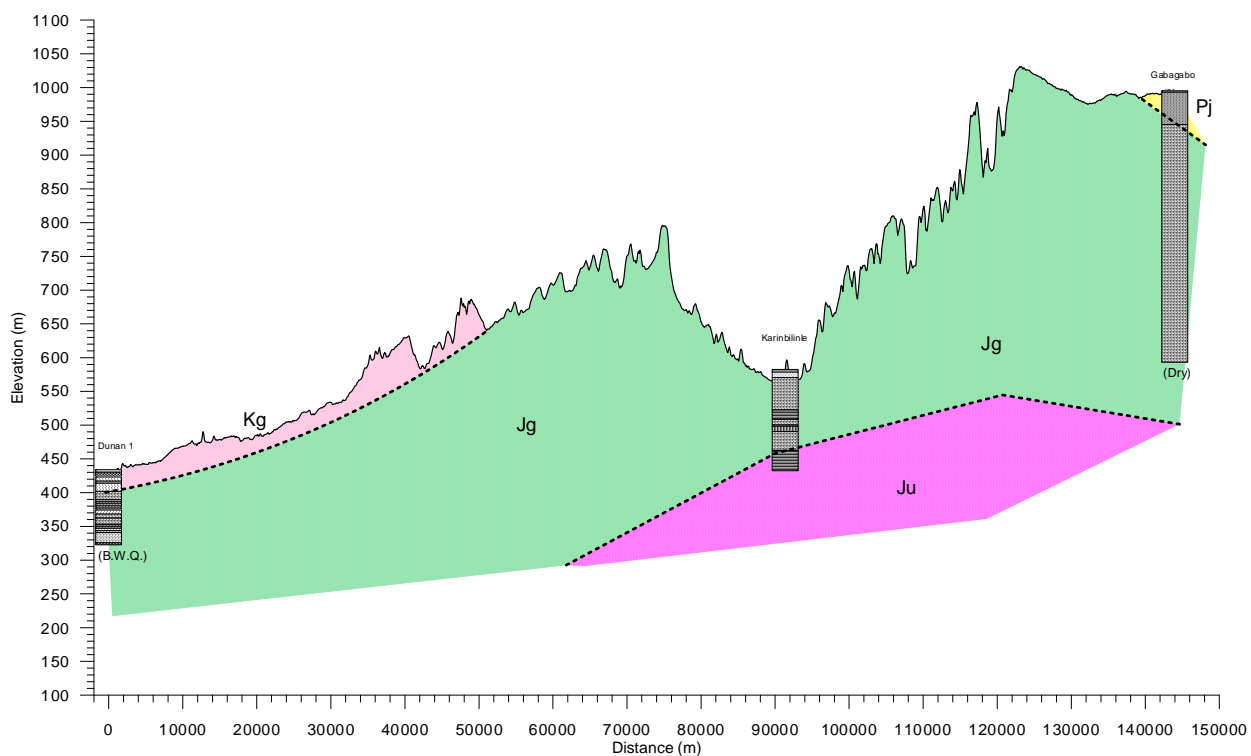


図 6.15: Kabridahar 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川を横断—北部)

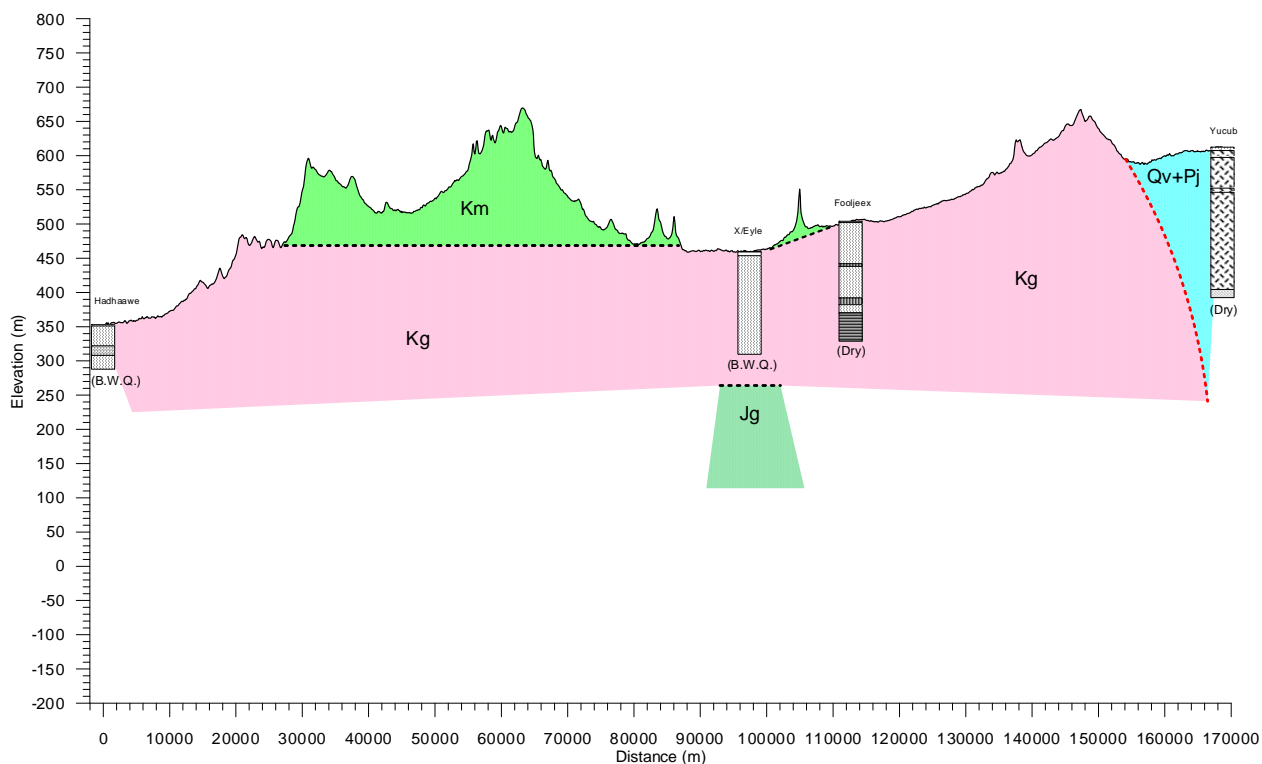


図 6.16: Kabridahar 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川を横断—南部)

表 6.9: Kabridahar 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Galadid 1	44.1623	7.0790	407486	782496	634	BH	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Galadid 2	44.1663	7.0753	407927	782083	691	BH-	200-	-	-	4.4-	-	EWWCA	S	○
Karinbilinle	44.2216	6.9012	414003	762826	583	BH	150	-	-	-	2005	Rabah-	S	○
K/Dahar 3	44.2323	6.8203	415171	753884	553	BH	24	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 4	44.2422	6.8034	416262	752014	549	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 2	44.2430	6.7955	416349	751577	546	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 1	44.2422	6.7933	416503	750900	545	BH	39.62	-	-	-	-	-	A (Salt)	○
K/Dahar 5	44.2655	6.7928	418835	750839	543	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 13	44.2519	6.7672	417327	748004	538	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 12	44.2710	6.7497	419435	746066	524	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 7M	44.2759	6.7494	419977	746037	522	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 6M	44.2759	6.7493	419977	746029	522	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 11	44.2721	6.7489	419557	745978	522	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
K/Dahar 8M	44.2738	6.7476	419745	745839	522	BH	-	-	-	-	-	-	S	-
Kabridahar 6	44.2671	6.7436	419003	745401	528	-	-	-	-	-	1993	WRDB	-	-
Kabridahar 2	44.2537	6.7420	417522	745220	557	-	-	-	-	-	-	EWWCA	-	-
Kabridahar 8	44.2723	6.7402	419578	745015	522	-	-	-	-	-	1993	WRDB	-	-
K/Dahar 9	44.2823	6.7368	420848	744641	515	BH	-	-	-	-	-	-	S	-

Kabridahar 5	44.2723	6.7332	419576	744248	535	-	-	-	-	-	1993	WRDB	-	-
Kabridahar 5 (2)	44.2723	6.7332	419576	744248	535	BH	54	-	-	-	2001	WRDB	-	-
Kabridahar 7	44.2723	6.7332	419576	744248	535	-	-	-	-	-	1993	WRDB	-	-
K/Dahar 10	44.2836	6.7296	420825	743846	514	BH							S	
Kabridahar 4	44.2679	6.7288	419089	743756	527	-	-	-	-	-	1993	EWWCA	-	-
Kabridahar 1	44.2576	6.7212	417950	742925	509	-	-	-	-	-	-	EWWCA	-	-
Kabridahar 3	44.2406	6.7188	416070	742660	526	-	-	-	-	-	-	EWWCA	-	-
Fooljeex	44.5482	6.6008	450056	729579	504	BH	175	-	-	-	2005-	Rabah-	A (Dry)	○
X/Eyle	44.4349	6.5162	438017	720232	459	BH	150	-	-	-	-	-	A (Salt)	○

* S: Successful, A: Abandoned, L.Y.: Low yield

a.7 Doba wein worda

Doba wein 郡の地下水利用可能性評価図を図 6.17 に、地下水利用可能性評価断面図を図 6.18 及び図 6.19 に、井戸掘削情報を表 6.10 に示す。

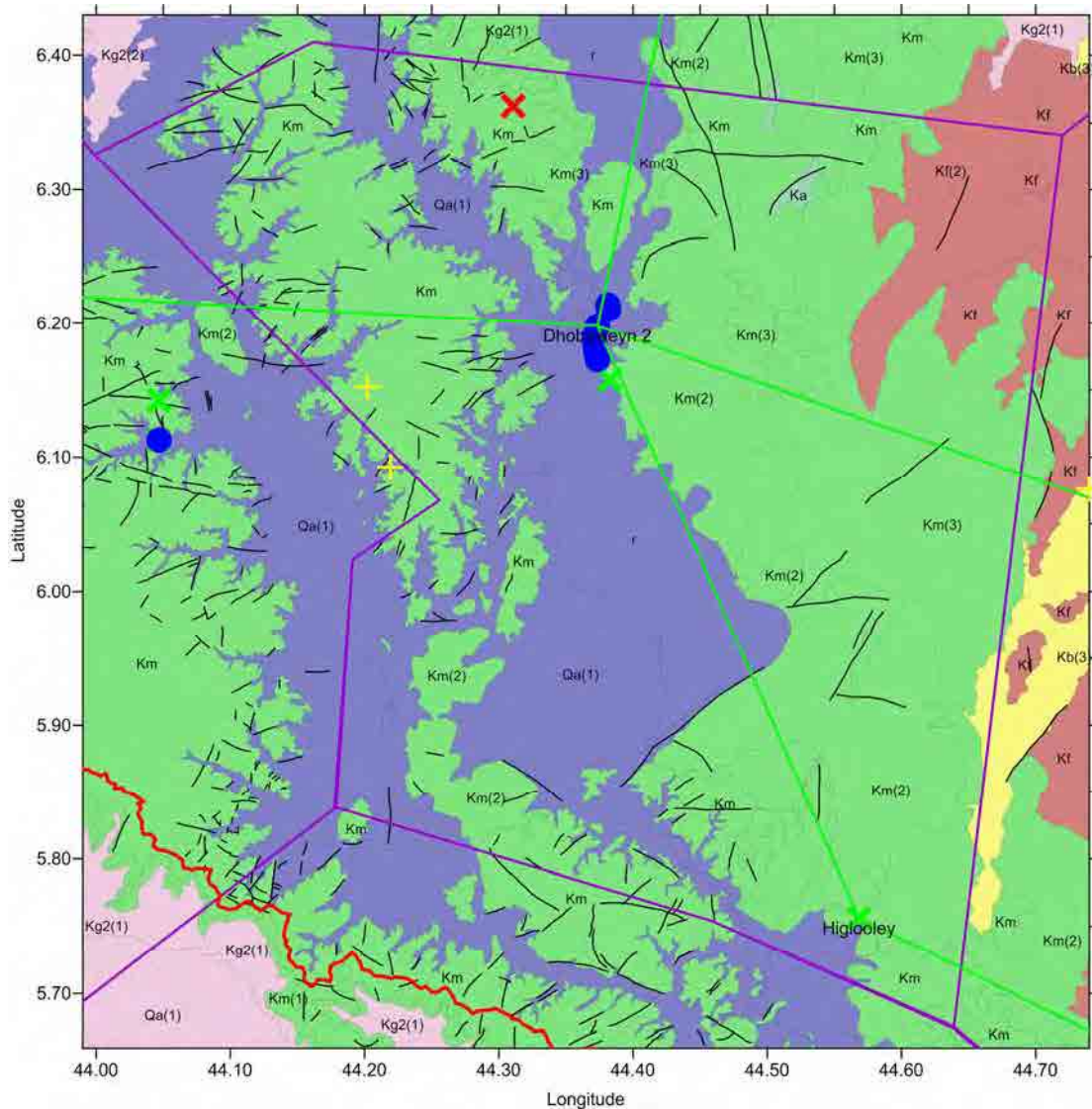


図 6.17: Doba wein 郡の地下水利用可能性評価図

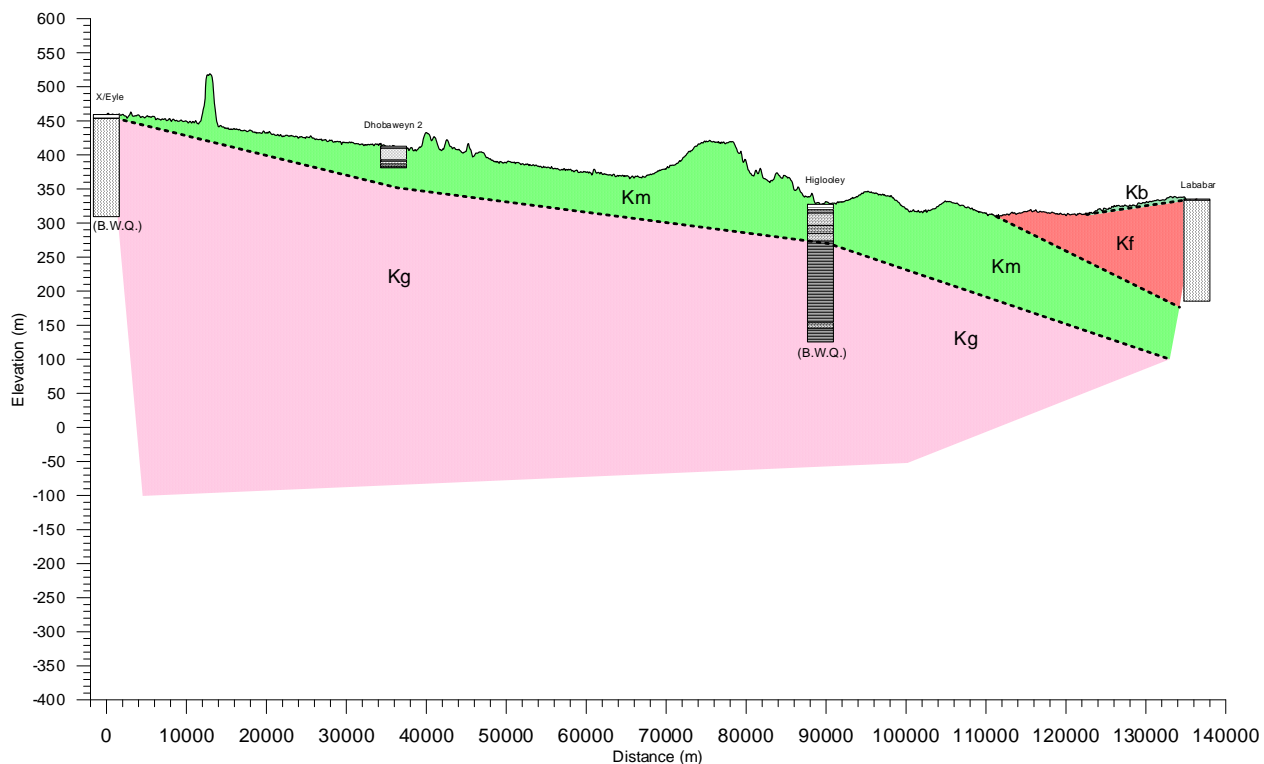


図 6.18: Doba wein 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川に並行)

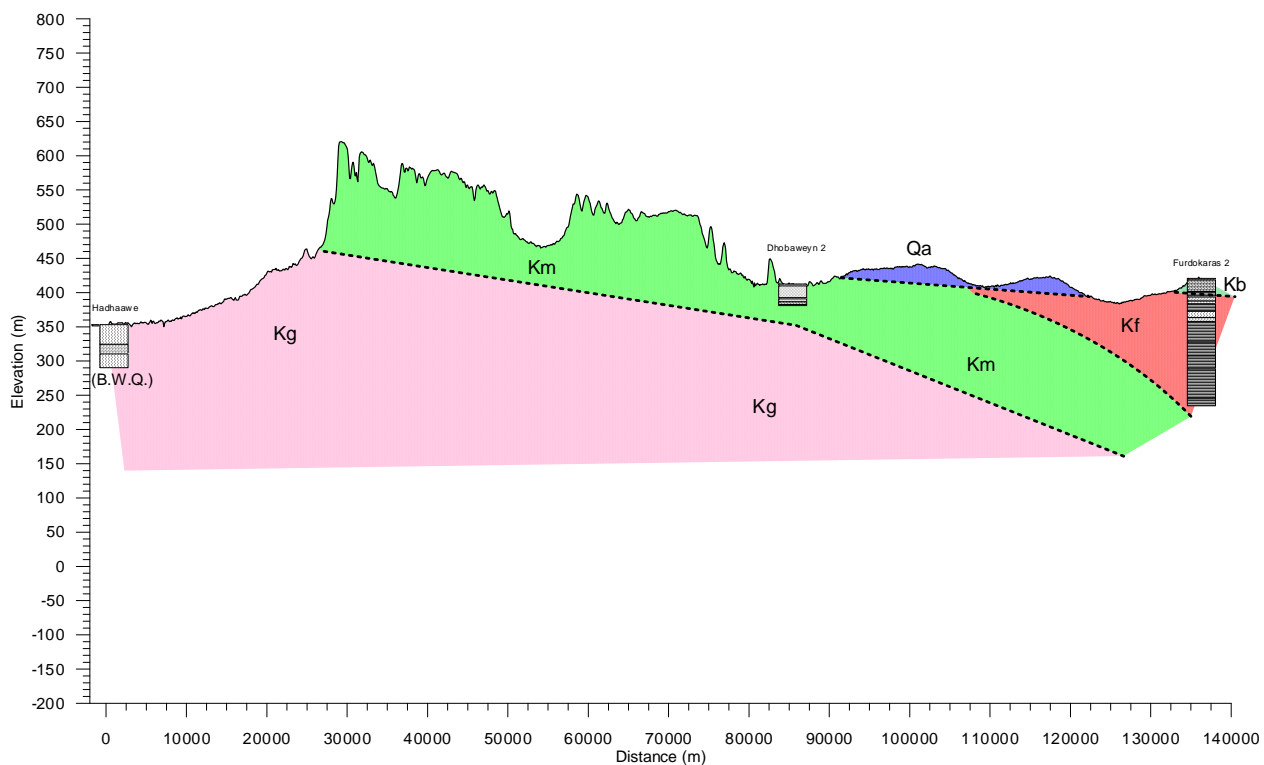


図 6.19: Doba wein 郡の地下水利用可能性評価断面図(河川を横断)

表 6.10: Doba wein 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸 タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸 柱状図
Jiracle	44.3817	6.2105	431597	686455	416	SW	-	-	-	-	1991	EWWCA	S	-
Jeracle	44.3817	6.2105	431597	686455	416	SW	-	-	-	-	1996	EWWCA	-	-
Dhobaweyn 2	44.3735	6.1980	430688	685067	412	SW	31.6	-	-	-	-	-	S	○
Dhobaweyn 3	44.3712	6.1899	430433	684173	410	SW	24	-	-	-	-	-	S	○
Dhobaweyn 4	44.3715	6.1841	430465	683537	410	SW	24.9	-	-	-	-	-	S	○
Dhobaweyn 5	44.3722	6.1786	430542	682921	407	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Dhobaweyn 6	44.3735	6.1726	430685	682267	410	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Dhobaweyn 1	44.3829	6.1574	431723	680575	413	BH	-	-	-	-	1991	EWWCA	A (Salt)	-
Higlooley	44.5684	5.7562	452213	636214	327	BH	202	-	-	-	2000	Rabah	A (Salt)	○
Jiracle-3	44.3812	6.2139	431542	686829	410	-	24.8	7	-	-	2006	-	S	○
Marerale well #1	44.3108	6.3628	423772	703296	549	-	170	-	-	-	2002(EC)	-	A (Salt)	○

* S: Successful, A: Abandoned

b. シェベレ川支流域

b.1 Rasso worda

Rasso 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.20、井戸掘削情報を表 6.11 に示す。

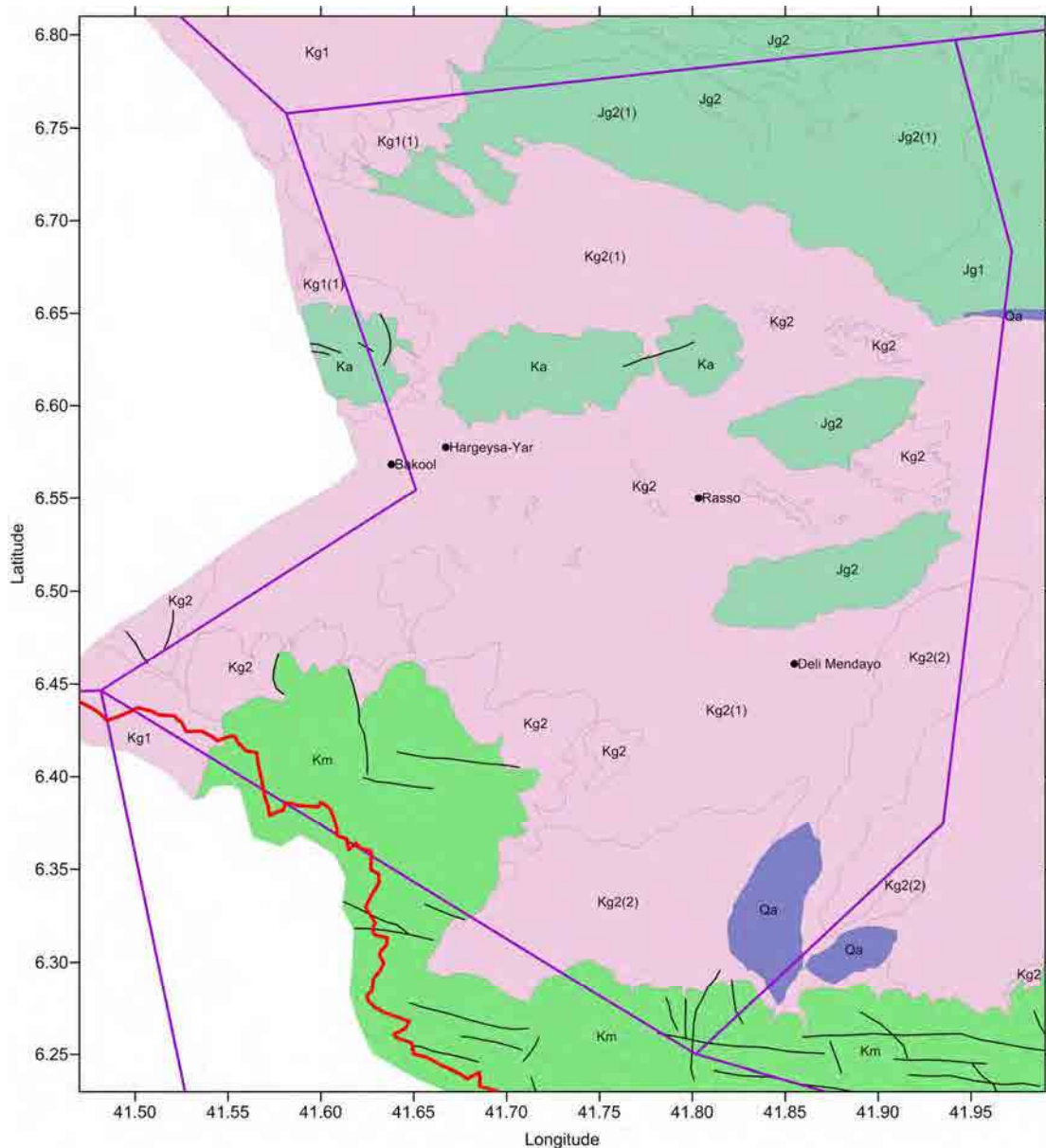


図 6.20: Rasso 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.11: Rasso 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Rasso H	41.7924	6.5334	145190	723229	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

b.2 West Ime woreda

West Ime 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.21、井戸掘削情報を表 6.12 に示す。

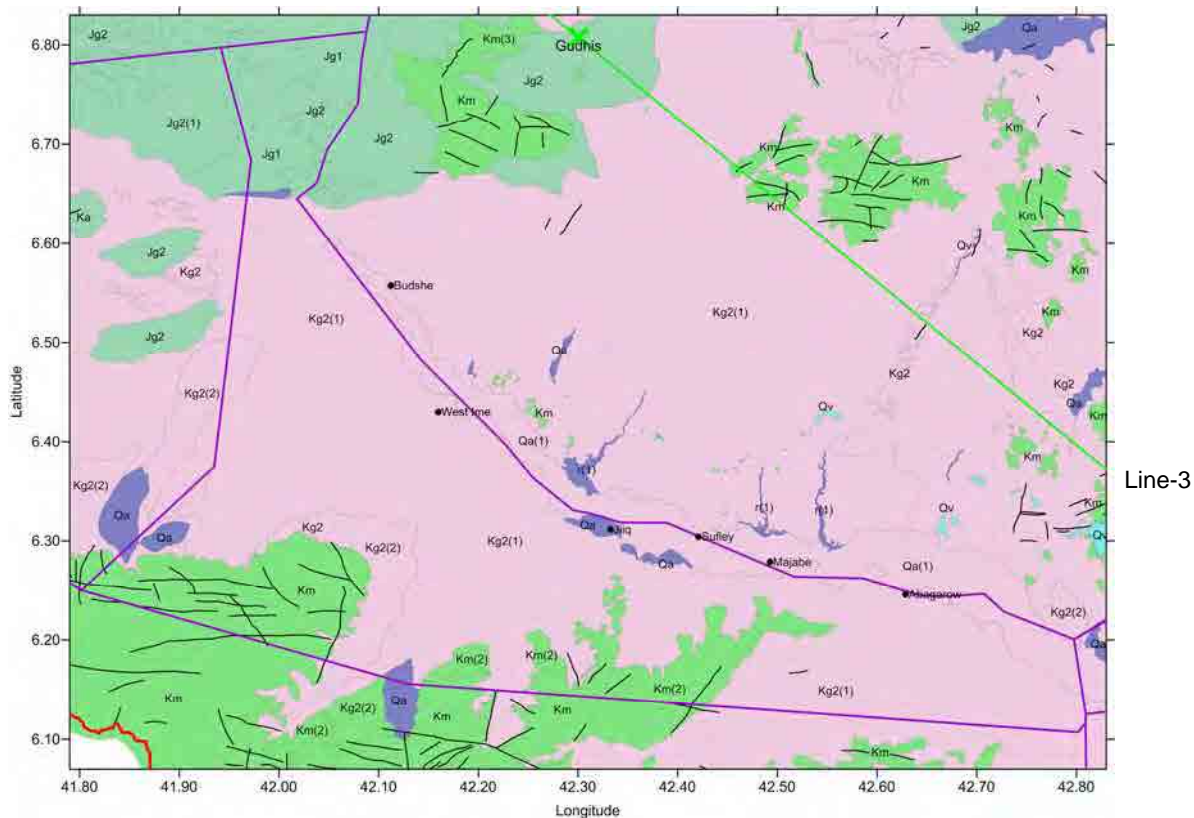


図 6.21: West Ime 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.12: West Ime 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Bula BH	41.9902	6.5325	167091	722998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

b.3 East Ime woreda

East Ime 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.22、井戸掘削情報を表 6.13 に示す。

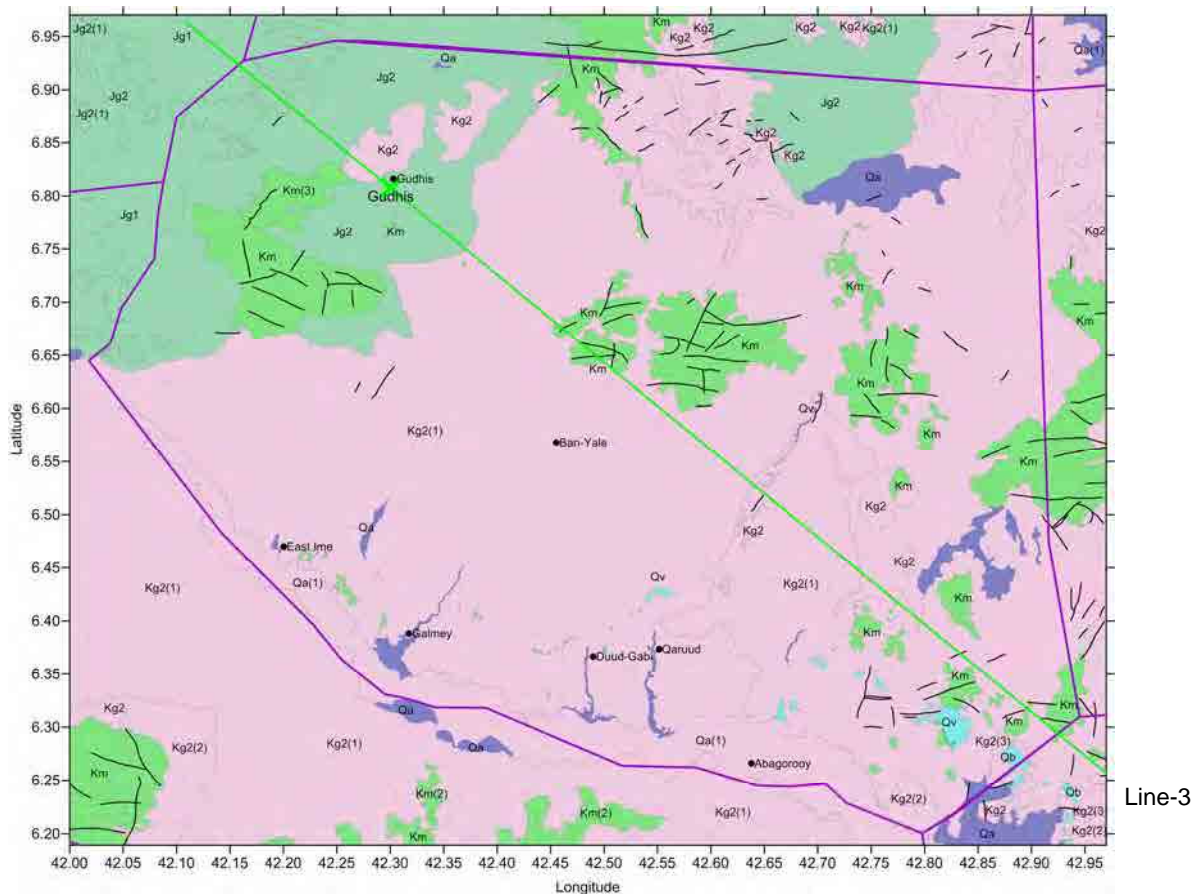


図 6.22: East Ime 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.13: East Ime 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Gudhis	42.3006	6.8074	201614	753219	634	BH	145	-	-	-	-	-	A (BWQ)	○

* A: Abandoned, BWQ: Bad water quality

b.4 Adadle woreda

Adadle 郡の水資源(地下水)利用可能評価図を図 6.23、井戸掘削情報を表 6.14 に示す。

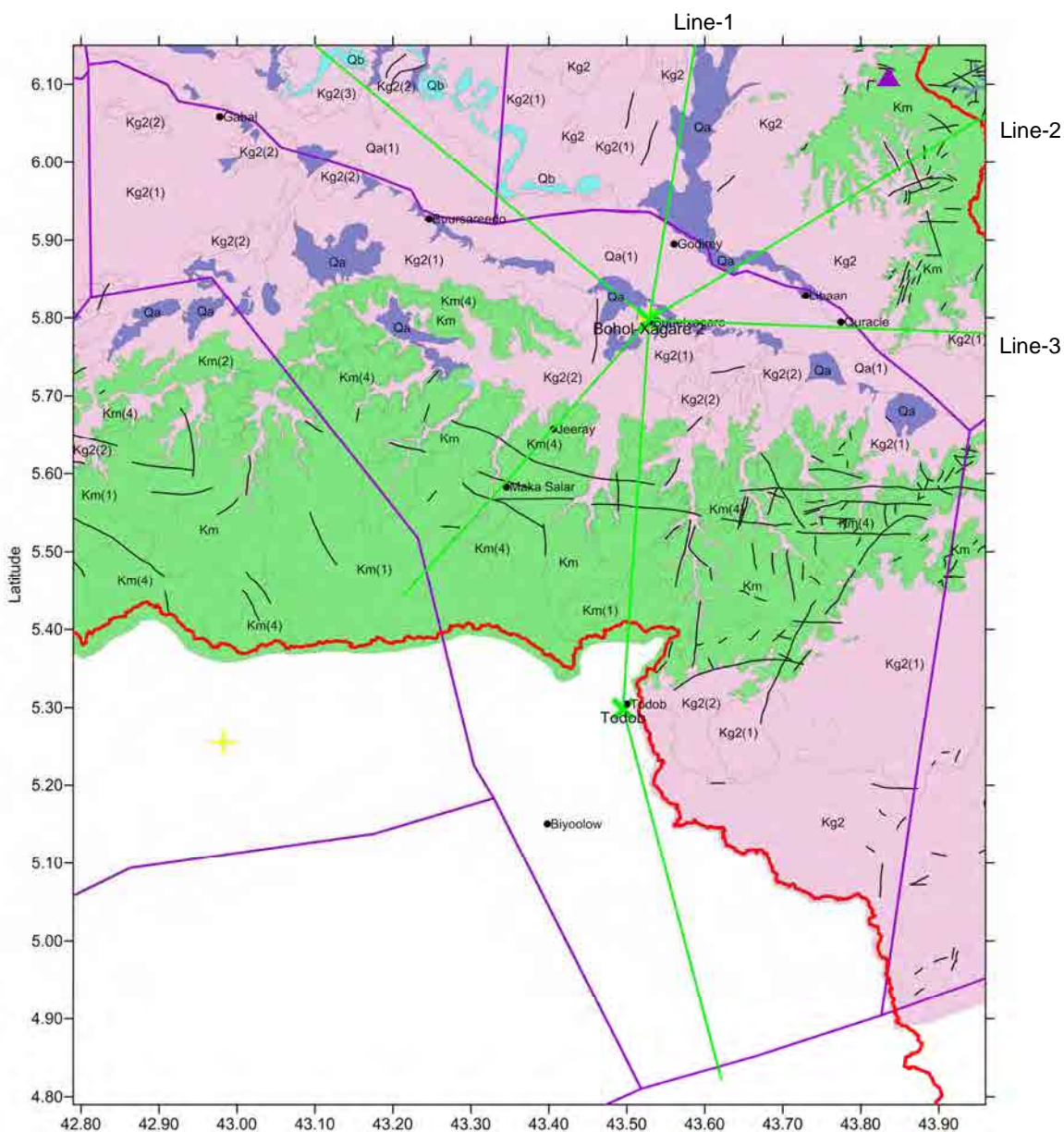


図 6.23: Adadle 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.14: Adadle 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Bohol-Xagare	43.5285	5.7975	337070	640968	285	BH	150	-	-	-	-	-	A (BWQ)	○
Bohol-Xagare 2	43.5285	5.7975	337070	640968	285	-	150	-	-	-	-	-	-	○
Todob	43.4951	5.2983	333231	585781	538	BH	150	-	-	-	2000	SCF/USA	A (BWQ)	○
Qobo well NO.1	43.3301	5.5727	315024	616179	453	-	280	-	-	-	2007	-	A (L.Y.)	○

* A: Abandoned, L.Y.: Low yield, BWQ: Bad water quality

b.5 Danan worda

Danan 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.24、井戸掘削情報を表 6.15 に示す。

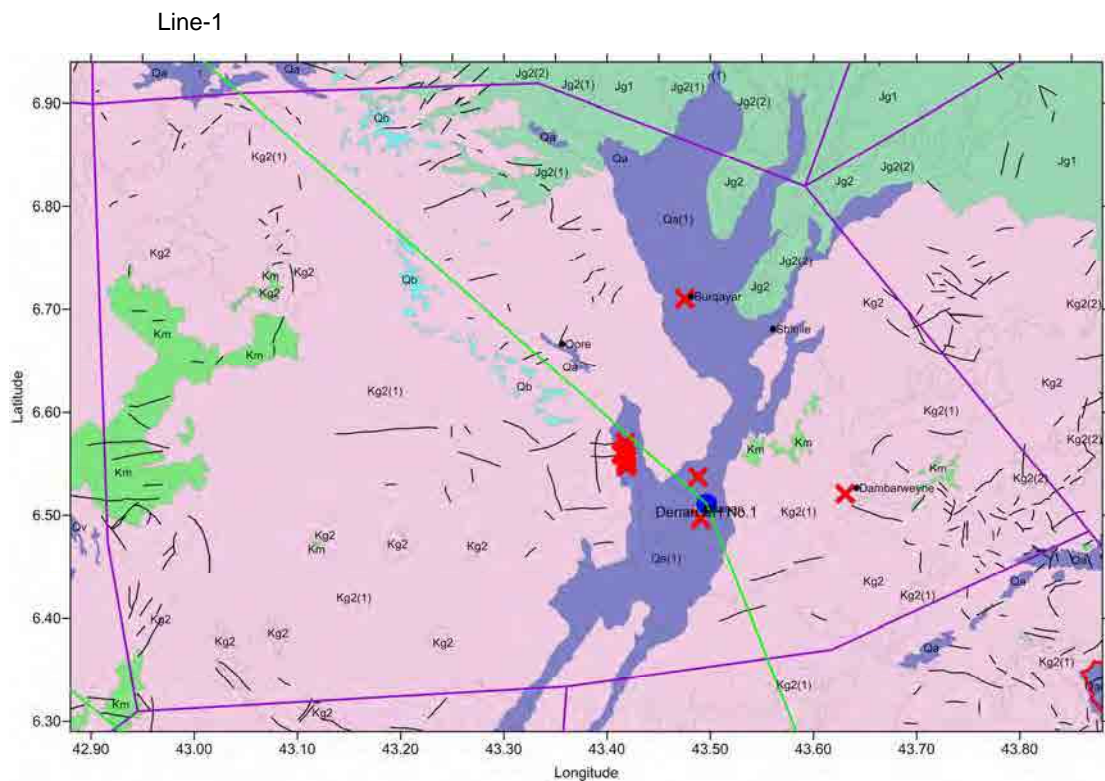


図 6.24: Danan 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.15: Danan 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Burqayar	43.4754	6.7101	331482	741890	510	BH	151	93	-	-	2000	SCF/USA	A (L.Y.)	-
Danan	43.4951	6.5068	333592	719404	434	BH	90	-	-	-	2000	SCF/USA	(BWQ)	-
Danan 1	43.4951	6.5068	333592	719404	434	BH	111.25	-	-	-	2000	SCF/USA	A (BWQ)	○
Danan 2	43.4908	6.4972	333113	718346	428	BH	-	-	-	-	-	-	A (BWQ)	-
Danan 3	43.4878	6.5373	332795	722787	445	BH	-	-	-	-	-	-	A (BWQ)	-
Dhanbarwey	43.6307	6.5209	348593	720923	448	SW	60	23	-	-	2000	SCF/USA	A (L.Y.)	-
Koore	43.4189	6.5576	325182	725050	445	SW	25	6	-	-	2000	SCF/USA	S	-
Koore 2	43.4183	6.5535	325114	724598	444	SW	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Koore 3	43.4186	6.5503	325146	724241	440	SW	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Koore 4	43.4189	6.5468	325178	723854	440	SW	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Koore 5	43.4175	6.5645	325029	725821	447	SW	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Koore 6	43.4175	6.5713	325032	726566	452	SW	-	-	-	-	-	-	A (L.Y.)	-
Danan No.1	43.4964	6.5111	333736	719886	435	BH	30	18	-	-	1984(EC)	-	S	○

Kore well #1	43.4147	6.5591	324715	725221	444	-	25	10.6	-	-	2010	-	(L.Y.)	○
Kore-1	43.4189	6.5582	325185	725117	444	-	28.3	12.5	-	-	2008	-	A (L.Y.)	○
Kore well #2	43.4142	6.5607	324665	725398	447	-	25	8.4	-	-	2010	-	(L.Y.)	○
Kore-2	43.4189	6.5582	325185	725117	444	-	28.3	12.5	-	-	2008	-	A (L.Y.)	○

* S: Successful, A: Abandoned, L.Y.: Low yield, BWQ: Bad water quality

b.6 Godey woreda

Godey 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.25、井戸掘削情報を表 6.16 に示す。

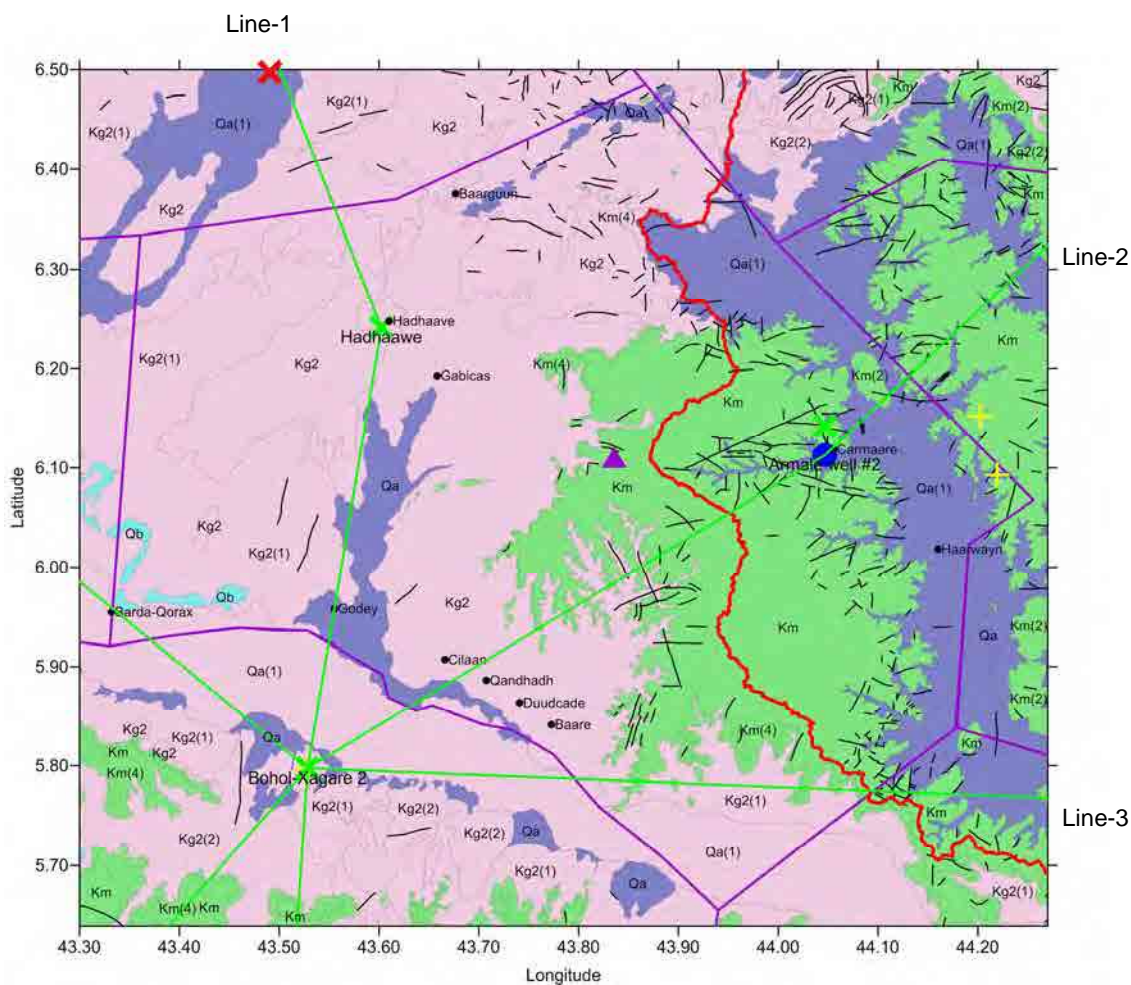


図 6.25: Godey 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.16: Godey 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
Carmale BH	44.0469	6.1423	394542	678970	532	BH	-	-	-	-	-	-	A (BWQ)	-
Carmale SW	44.0467	6.1129	394514	675712	490	SW	-	-	-	-	-	-	S	-
Hadhaawe	43.6025	6.2413	345391	690025	354	BH	65	-	-	-	2003	WRDB	A (BWQ)	○
Elele deep oil well	43.8355	6.1103	371144	675470	586	Oil Well	3590	-	-	-	-	-	-	○
Magan deep oil well	44.2192	6.0927	413596	673453	463	Oil Well	4056	-	-	-	-	-	-	○
Armale well #2	44.0467	6.1129	394513	675712	490	-	234	6	-	-	2007	-	A (BWQ)	○
Armale well #3	44.0467	6.1129	394513	675712	490	-	25	6	-	-	2007	-	S	○

* S: Successful, A: Abandoned, BWQ: Bad water quality

b.7 Beercaano worda

Beercaano 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.26、井戸掘削情報を表 6.17 に示す。

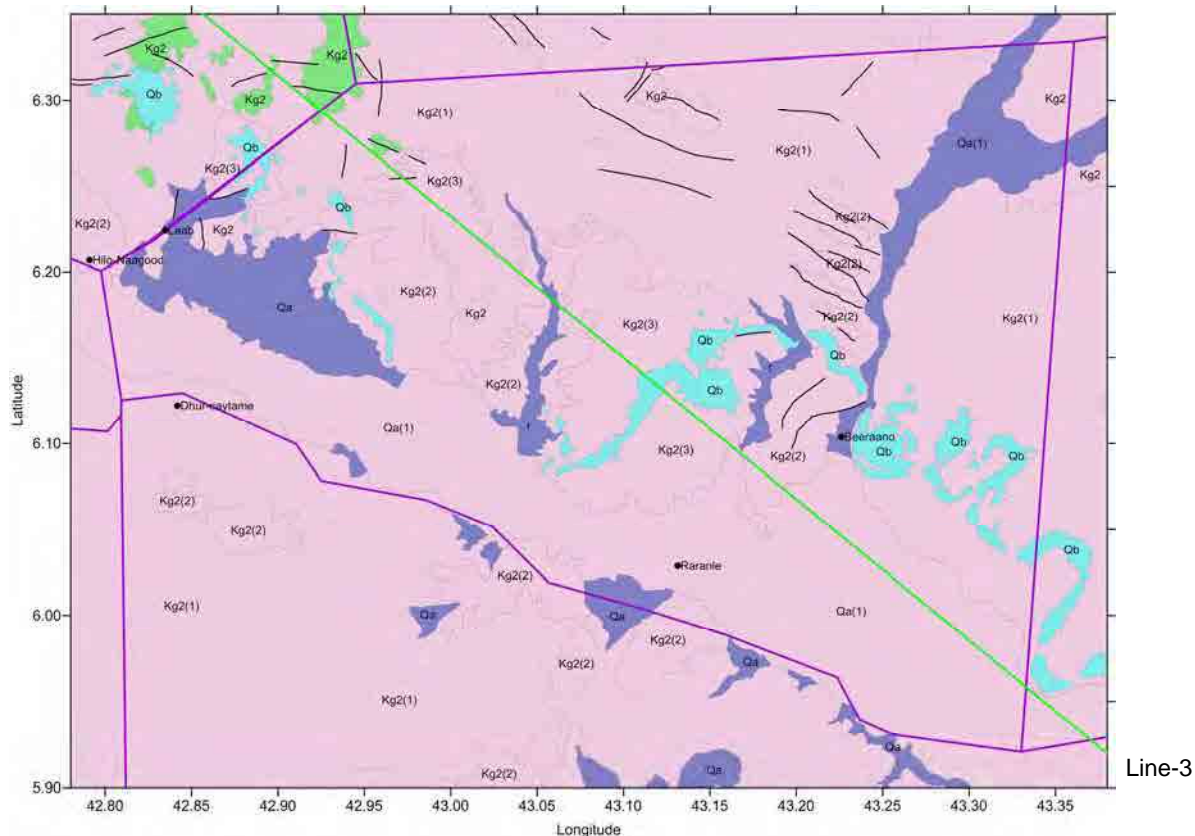


図 6.26: Beercaano 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.17: Beercaano 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
No Construction														

b.8 Kalafo woreda

Kalafo 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.27、井戸掘削情報を表 6.18 に示す。

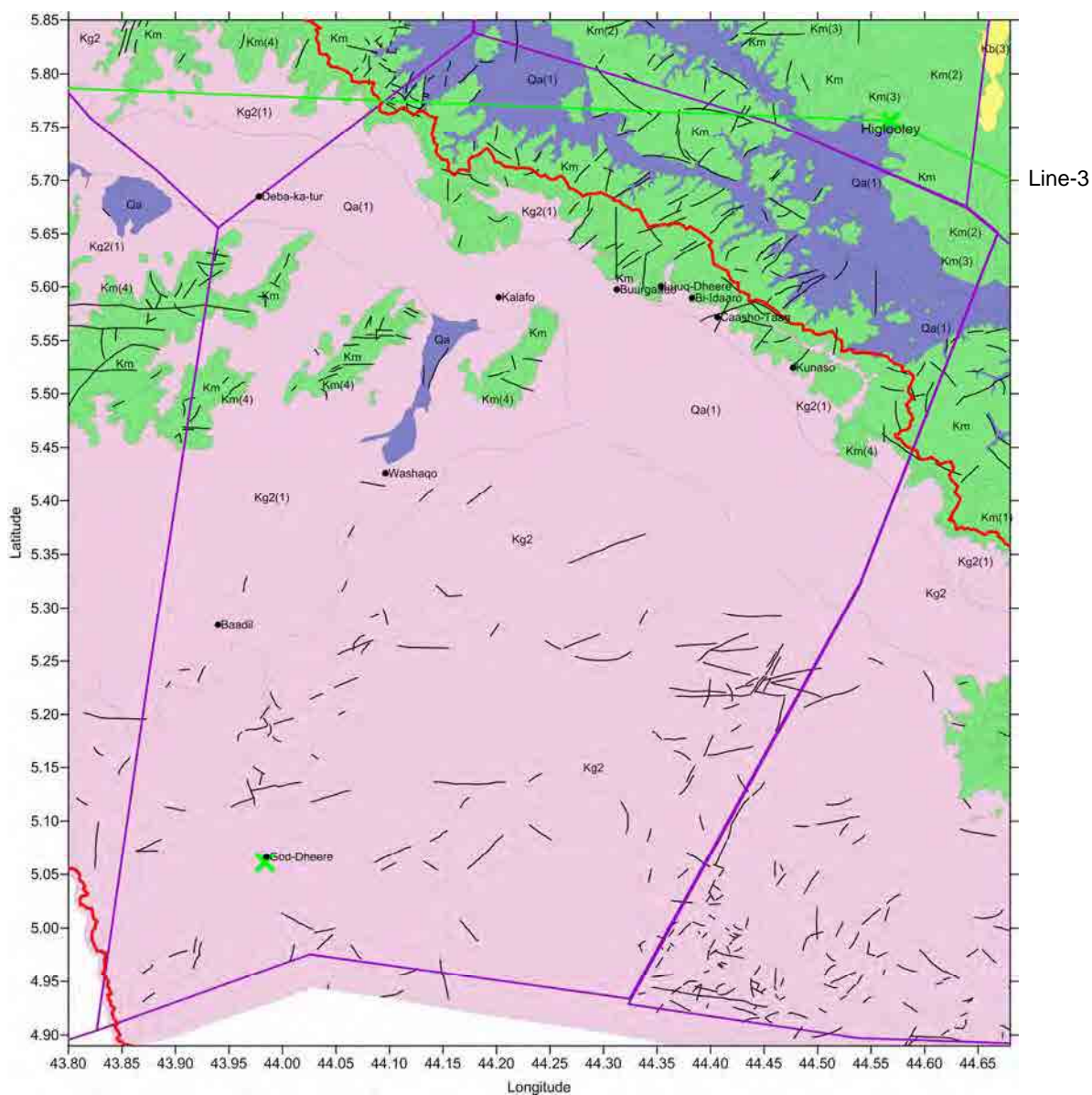


図 6.27: Kalafo 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.18: Kalafo 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
God-Dheere	43.9837	5.0611	387341	559452	419	BH	180	30	-	-	2003	Rabah	A (BWQ)	○

* A: Abandoned, BWQ: Bad water quality

b.9 Mustahil woreda

Mustahil 郡の水資源（地下水）利用可能評価図を図 6.28、井戸掘削情報を表 6.19 に示す。

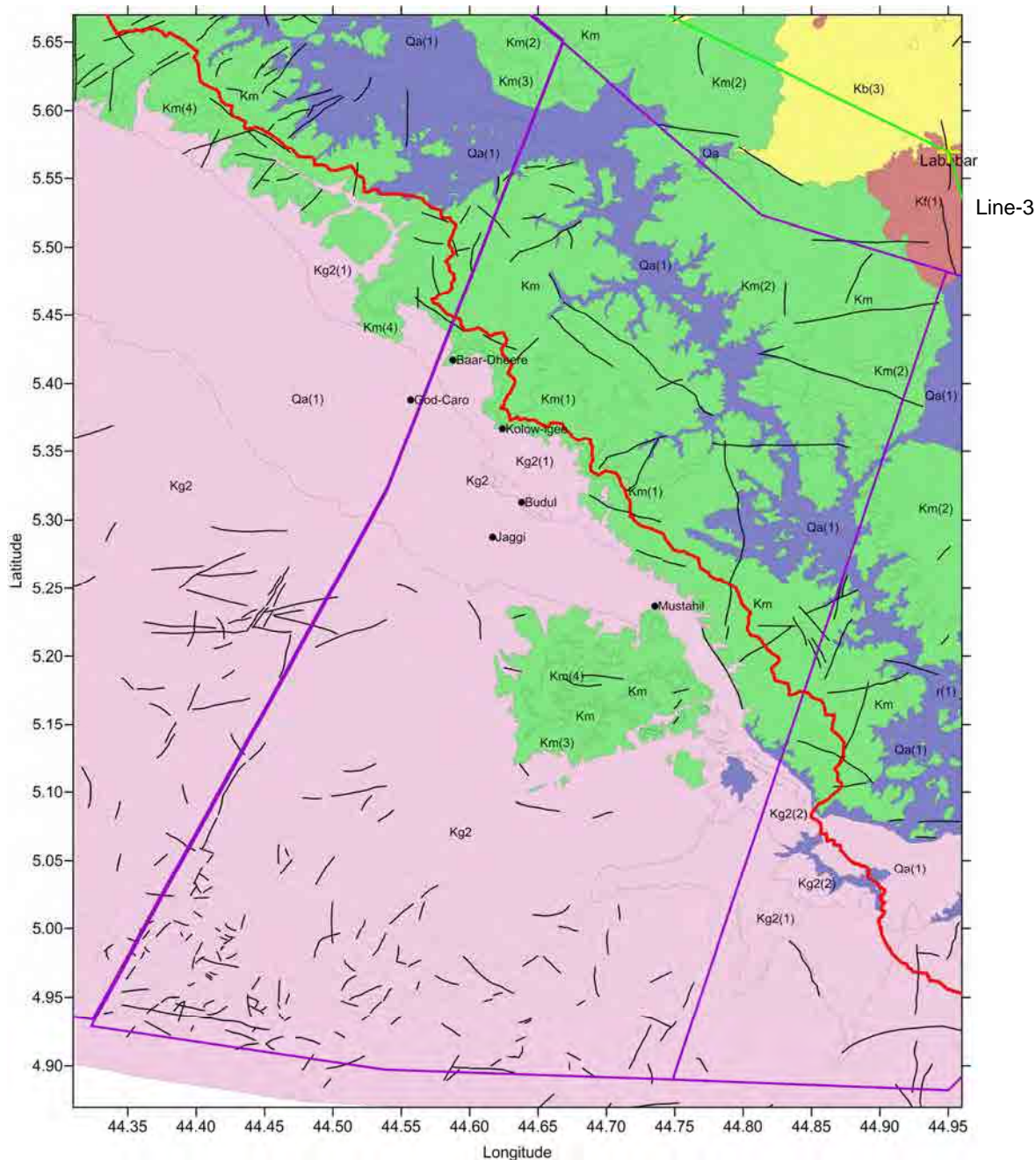


図 6.28: Mustahil 郡の地下水利用可能性評価図

表 6.19: Mustahil 郡の井戸掘削記録

井戸名	経度 (°)	緯度 (°)	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	標高 (m)	井戸タイプ	井戸深度 (m)	静水位 (GL-m)	動水位 (GL-m)	産出量 (L/sec.)	掘削年	掘削者	状況*	井戸柱状図
No Construction														

b.10 断面図

シェベレ川支流域において、図 6.29 に示す 3 測線の地下水利用可能性評価断面図（図 6.30 から図 6.32）を作成した。

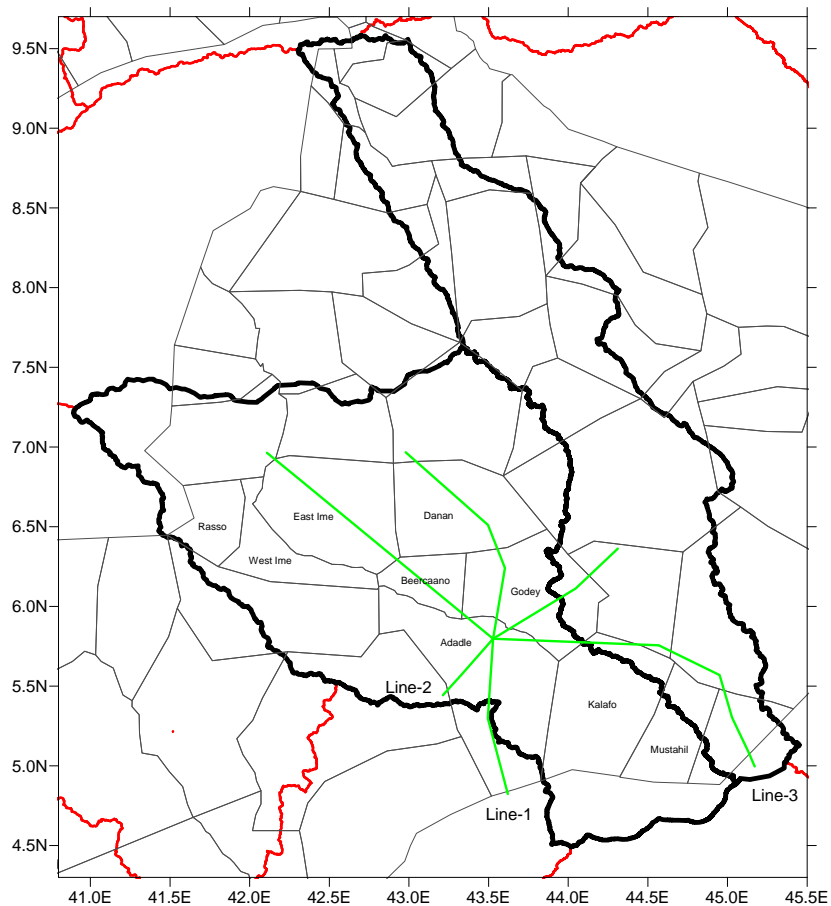


図 6.29: シェベレ川支流域の地形・地質区分断面線位置図

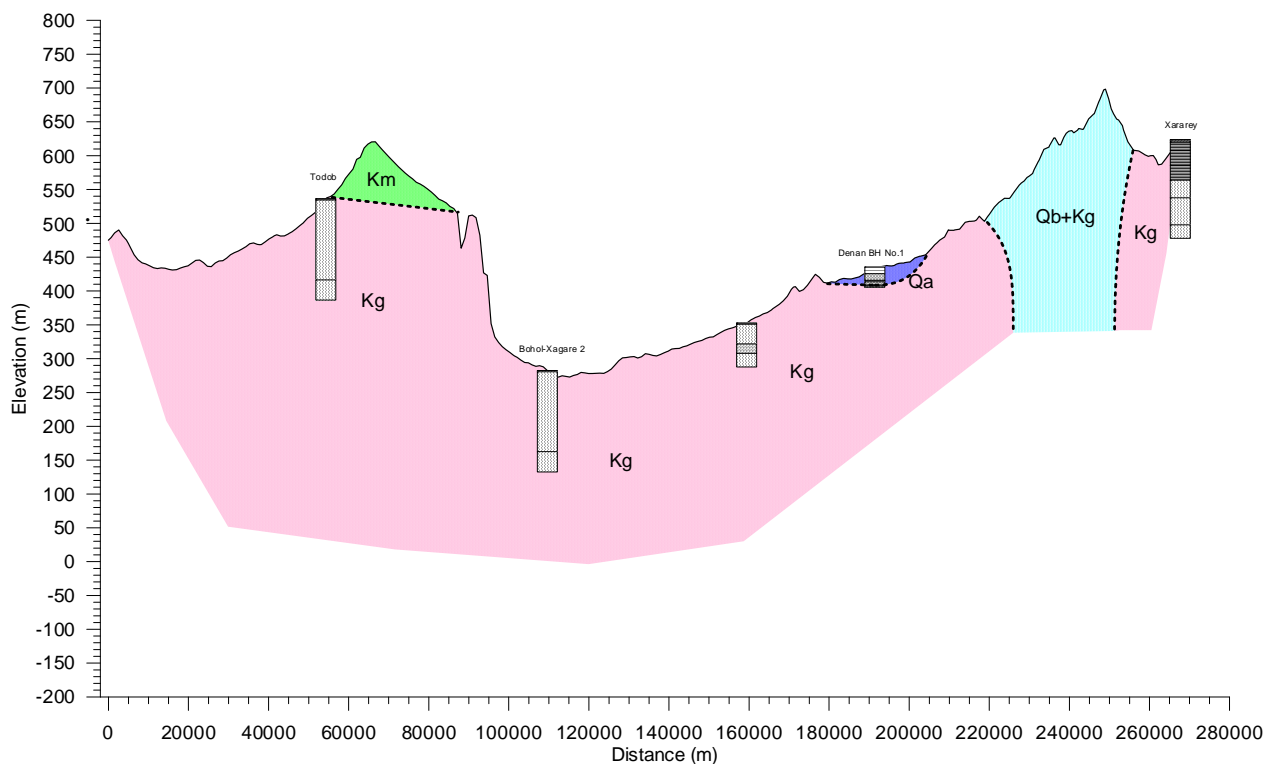


図 6.30: シェベレ川支流の地下水位利用可能性評価断面図 (Line-1)

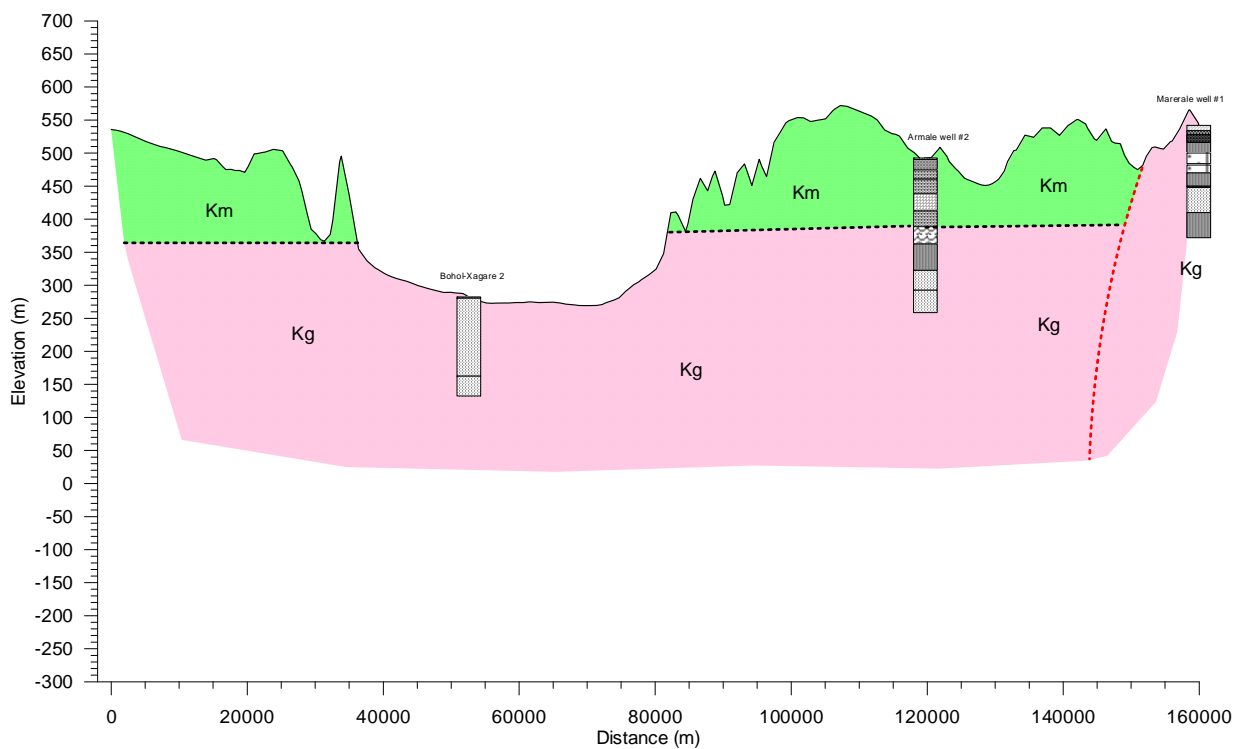


図 6.31: シェベレ川支流の地下水位利用可能性評価断面図 (Line-2)

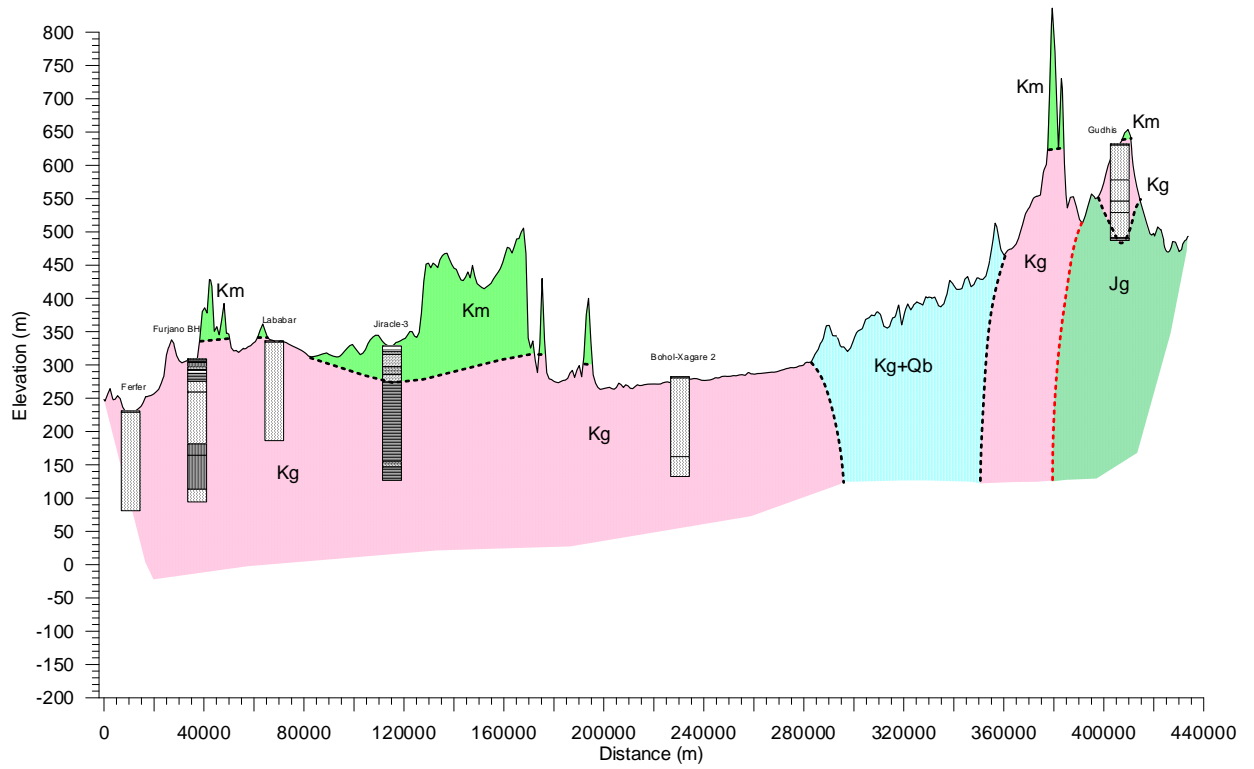


図 6.32: シェベレ川支流の地下水位利用可能性評価断面図 (Line-3)

7. ソマリ州の 水資源情報図

7 ソマリ州の水資源情報図

7.1 関連データの収集

一般にある地域の地下水の存在及びその利用可能性は主に次の要因に規定される。

- 1) 地下水涵養量
- 2) 地形
- 3) 地質
- 4) 水質

リモートセンシング技術を利用した地下水の解析では主に1) 地下水涵養量と2) 地形を対象とする。3) の地質は、さらに2つの要素として地層区分と地質構造(リニアメント)に分けられるが、リモートセンシングではリニアメントの解析が可能である。4) の水質は3) の要素である地層区分と同様、リモートセンシングによる解析では解析できない。

リモートセンシングにするデータは1次データ(Primary Data)と2次データ(Secondary Data)の2種類に分けられる。1次データとは、直接観測衛星から得られたオリジナルのイメージデータであり、Landsat (USNASA)やPALSAR((財)宇宙航空研究開発機構)等がある。地表面の状況をそのまま反映するため、信頼性が高いと考えられるが、各種観測条件の影響により多くのノイズが含まれている欠点もある。一方、2次データは、いくつかの関連機関や組織が専門家グループを結成し、1次データに含まれたノイズを除去してから、必要なその他の情報を合わせて1次データをさらに解析した結果である。2次データのうち信頼性が高く、良く利用されているものはMRSID (Multi-resolution Seamless Image Database, Landsat を基にして作成した自然環境イメージ) や SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, Shuttle Imaging Radar や Synthetic Aperture Radar の探査結果にも基づいて作成した地形データ) 等と考えられ、Google の地図のバックグラウンドとして利用しているだけではなく、多くの調査や解析で利用されている。

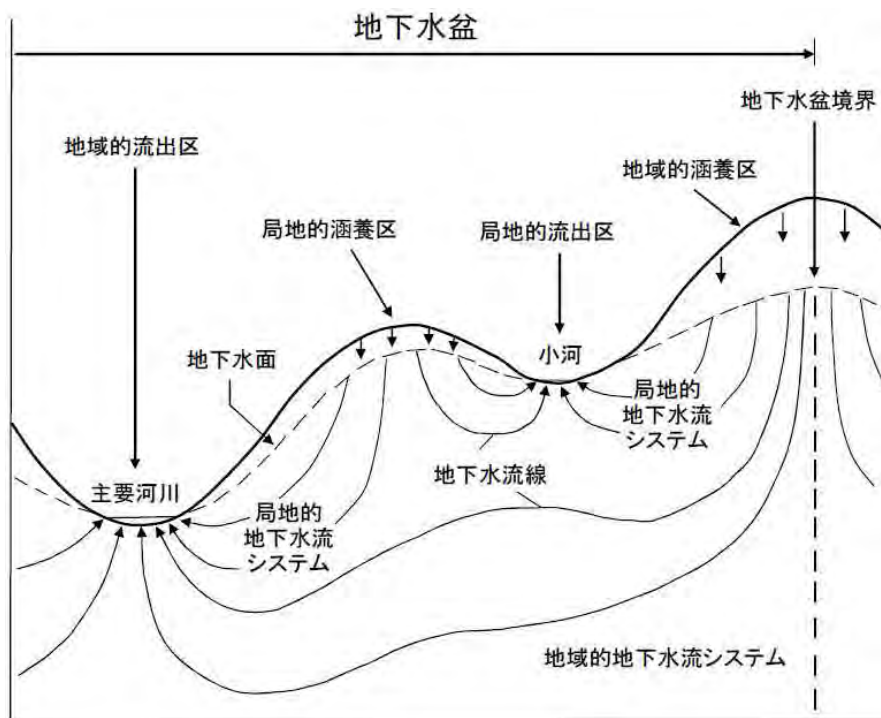
その他、Landsat を基に関連する降水量、蒸発散量、気温等のデータと合わせて解析したデータベースがある。地表面植生分布 (World Resources Institute, 千葉大学, GLCF (Global Land Cover Facility) 等)、蒸発散分布 (FAO, EU_WATCH, UNEP 等)、土壌水分分布 (FAO, 欧州宇宙機構 (European Space Agency: ESA), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, Department of Commerce, US)) 等は、地下水及び水資源の解析に重要な参考資料となる。以上を踏まえ、次のようにデータ収集を行った。

7.1.1 涵養量に関連するデータの収集

地域の地下水形成に最も重要な要因である地下水涵養量は、一般的にはその解析のために降水量と蒸発散量の両方のデータを収集する必要がある。そのためいくつかの組織や研究グループがとりまとめた、降水量データを収集した。カリフォルニア大学の研究グループ World_Clim が公表したグリッドデータ及び蒸発散量データ、FAO と USNASA で共同発表した可能蒸発散量のグリッドデータである。

7.1.2 地形に関連するデータの収集

図 7.1 に示す概念図のとおり、一般に地下水は標高の高い地点から低い地点に流れる。流れる途中で地下水の一部は河川の基底流(Base Flow)として地表へ流出し、残りの部分は地下水盆内の標高の最も低い所へ向かって流れる。すなわち地形は地下水の流動に大きく影響する。



出典:Toth 1983

図 7.1: 地形と地下水流動系(修正した概念図)

地形に関連するデータは、USNASA が公表した SRTM、USNASA & JSS が公表した Aster データをそれぞれ収集した。

7.1.3 地質に関連するデータの収集

リモートセンシングデータでは地層は区分できないため、UNESCO(2012)の地質図を利用した。リニアメントの解析には、USNASA から公表されている Landsat データを調査地域全体を対象に収集し、さらに精度の高い PALSAR データ（(財)宇宙航空研究開発機構）を主要調査地域がカバーされるように収集した。

7.1.4 水質に関連するデータの収集

水質はリモートセンシングでは調べることができないため、地質データと同様に UNESCO(2012)の水質区分を利用した。

7.1.5 その他関連データの収集

本件調査のために収集した1次データと2次データの詳細を以下の表7.1と表7.2に示す。

表 7.1: 収集した1次データ

Landsat					
Path_162-55	Date	88_01_25	01_1_12	07_04_19	
Path_163-54	Date	86_02_19	00_02_02	01_11_03	05_12_16
Path_163-55	Date	86_02_19	01_11_13	06_05_09	
Path_163-56	Date	85_02_16	00_07_27	06_05_09	
Path_164-54	Date	86_03_30	00_05_15	05_11_05	
Path_164-55	Date	86_03_30	99_11_21	05_06_14	
Path_164-56	Date	86_01_09	99_11_21	05_12_07	
Path_164-57	Date	99_11_21	00_03_28	05_12_07	
Path_165-54	Date	86_02_01	05_10_27		
Path_165-55	Date	86_02_01	01_11_17	05_11_28	
Path_165-56	Date	86_02_01	01_11_17	05_11_28	
Path_165-57	Date	86_02_01	01_11_17	05_11_28	
Path_166-52	Date	85_06_13	00_05_13	05_04_09	
Path_166-53	Date	85_03_09	00_05_13	06_04_12	
Path_166-54	Date	86_01_23	00_12_23	06_11_06	
Path_166-55	Date	86_01_23	01_01_24	05_12_05	
Path_166-56	Date	86_01_23	01_01_24	05_12_05	
Path_166-57	Date	86_01_23			
Path_167-52	Date	01_03_20	03_09_02	06_03_02	
Path_167-53	Date	86_01_30	00_03_17	01_02_16	06_03_02
Path_167-54	Date	86_01_30	00_11_28	05_11_26	
Path_167-55	Date	86_01_30	00_11_28	05_11_26	
Path_167-56	Date	86_01_14	00_11_28	05_12_12	
Path_167-57	Date	86_01_14	05_12_12	00_11_28	01_01_31
Path_167-58	Date	86_01_14	00_12_14	05_01_10	
PALSAR					
PASL4101006151949281207310049			PASL4101007261942431207310077		
PASL4101006151949361207310050			PASL4101007261942511207310078		
PASL4101006151949441207310051			PASL4101007261943001207310079		
PASL4101006151949521207310052			PASL4101007261943081207310080		
PASL4101006151950001207310053			PASL4101007261943161207310081		
PASL4101006151950091207310054			PASL4101006201956071207310082		
PASL4101006151950171207310055			PASL4101006201956151207310083		
PASL4101006151950251207310056			PASL4101006201956241207310084		
PASL4101006151950331207310057			PASL4101006201956321207310085		
PASL4101006151950421207310058			PASL4101007021951341207310086		
PASL4101006151950501207310059			PASL4101007021951421207310087		
PASL4101006271945031207310060			PASL4101007021951501207310088		
PASL4101006271945111207310061			PASL4101007021951581207310089		
PASL4101006271945191207310062			PASL4101007021952061207310090		
PASL4101006271945271207310063			PASL4101007021952231207310091		
PASL4101006271945361207310064			PASL4101007021952311207310092		
PASL4101006271945441207310065			PASL4101007021952391207310093		
PASL4101006271945521207310066			PASL4101007021952481207310094		
PASL4101006271946001207310067			PASL4101007071958141207310095		
PASL4101007141947011207310068			PASL4101007071958221207310096		
PASL4101007141947091207310069			PASL4101007071958301207310097		
PASL4101007141947171207310070			PASL4101007191953321207310098		
PASL4101007141947261207310071			PASL4101007191953401207310099		
PASL4101007141947341207310072			PASL4101007191953481207310100		
PASL4101007141947421207310073			PASL4101007191953561207310101		
PASL4101007141947501207310074			PASL4101007191954051207310102		
PASL4101007141947581207310075			PASL4101007242000271207310103		
PASL4101007141948071207310076					

表 7.2: 収集した 2 次データ

Source & Data Name	Content
CGIAR	Aridity Index and Potential Evapotranspiration
Chiba University	Landcover and tree percent
ESA	Landcover and soil moisture
EU_WATCH	Evaporation and soil moisture
FAO	Soil moisture, Landcover, Aridity index, surface water etc.
GEM (V5)	Land cover
GLG	Tree cover
ISCGM	Land cover and tree percent
MODIS	Land cover, bare land and tree percent
NOAA US	Normalized Difference Vegetation Index
NRCS US	Soil type classification
Postel	Land cover and soil moisture
SAGE	Evapotranspiration, Net Primary Productivity and soil moist moisture
SEDAC	Agricultural Land and Drought Hazard
UN	Population and water system
UNEP	Forest canopy, precipitation, evaporation, land cover, tree percent etc.
University of California (World Clim)	Temperature, precipitation and Isothermally
University of Maryland	Land cover, bare land and tree percent
USDA(Global soil)	Soil type classification
USGS	Geological map and hydrological data
USNASA & JSS (Aster)	Topography
USNASA (SRTM)	Topography
WMO	Precipitation and temperature

注: Name of data source

CGIAR: Consultative Group on International Agricultural Research

ESA: European Space Agency

EU_WATCH: Project of Water and Global Change (WATCH, 2007-2011), funded under the EU.

GEM: Global Environment Monitoring, EU

GLG: Grass Land GIS

ISCGM: International Steering Committee for Global Mapping

MODIS: MODerate resolution Imaging Spectroradiometer, a sensor of earth observation satellite
 TERRA/AQUA

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

NRCS: Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.

Postel: Pole d'Observation des Surfaces confaces continenetales par Teledetection

SAGE: Sustainability and the Global Environment at the University of Wisconsin Madison

SEDAC: Socioeconomic Data and Applications Center, USNASA

USDA: United States Department of Agriculture

USGS: United States Geological Survey

JSS: JAXA Supercomputer System

WMO: World Meteorological Organization

7.2 情報図の作成方法

地下水の形成は多くの要因に影響されている。リモートセンシング技術では、地質区分の解析と水質区分を除き、他のほとんどの要因を直接または間接的に解析することが可能である。これらの解析結果に基づき、水資源情報図（WRIM）を作成するための手順は次のとおりである。

- 1) 各種必要データの収集
- 2) 収集した類似データの整理、修正、合併、
- 3) WRIM に影響する各要因について各種の区分図を作成
- 4) 各種の区分図の検討による WRIM に対する影響の大きさにより、各要因の重みづけを設定
- 5) 異なる重みづけの設定された区分図を合わせて、最終的に WRIM を作成

上記の手順において各種要因区分図の作成ののち、WRIM に纏める際に上記 4)の重みづけの設定が必要不可欠である。その重み付けの設定が WRIM の結果に大きく影響するが、どの要因にどの程度の重みを設定するか、現状では地下水及びリモートセンシング分野で確立された方法はない。従って、その重み付けの設定は、数種類の設定に基づき、数種類の WRIM を作成し比較した。その数種類の図面から最終的には地下水利用可能性評価図との比較を行い最も近似するものを選定した。

7.3 主要項目の解析結果

7.3.1 エチオピア及びソマリ州の自然条件

調査地域のソマリ州及びその周辺の自然条件の概況を示すために MRSID を用いて自然環境図を作成し、その結果を図 7.2 に示す。MRSID は、USNASA の Landsat を基に、解像度 30m の可視光バンドを約 15m 解像度のパンクロマテック (Panchromatic) バンドにより解像度を調整したイメージである。この MRSID データは Google Earth を始め、各種の自然状況を示す図面として利用されている。

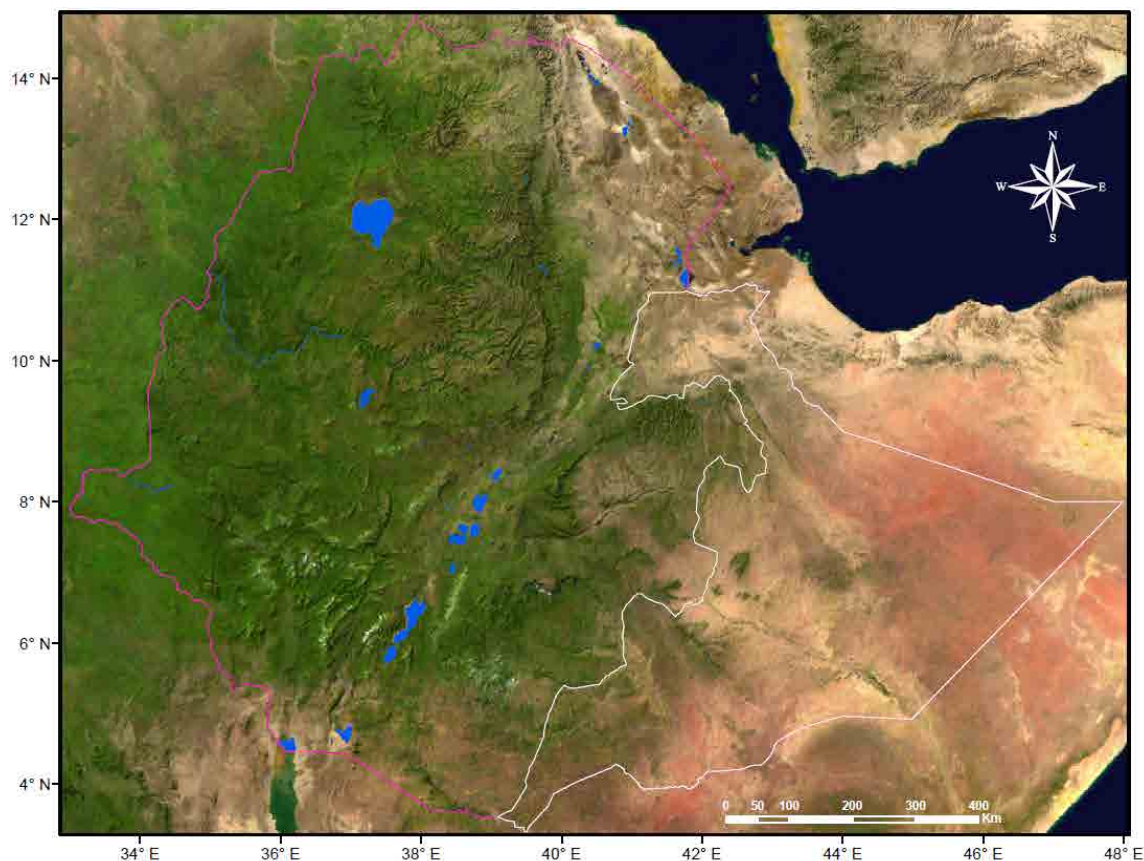


図 7.2: エチオピア国全体とソマリ州の自然条件

図 7.2 のとおり、ソマリ州以外のエチオピア国は主に緑色に覆われ、植生が広く分布していることを示す。植物の生存は利用可能な地下水と密接な関連がある。エチオピア国の多くの地域では比較的地表面付近に地下水が存在していると推測できる。一方、プロジェクトの対象地域のソマリ州では、南西部の一部を除く大部分の地域が黄色か褐色であり、植物のほとんどない荒地である。水資源の不足により植物の生存が難しいと判断される。

7.3.2 降水量分布図

図 7.3 には、調査地域であるソマリ州及びその周辺の年平均降水量分布を示す。図面の作成には、カリフォルニア大学の研究グループ World Clim が公表したグリッドデータを利用した。前述した自然環境図と高い相関があり、エチオピア中西部と比較して、ソマリ州の位置する東部の降水量はかなり少ないことが確認できる。

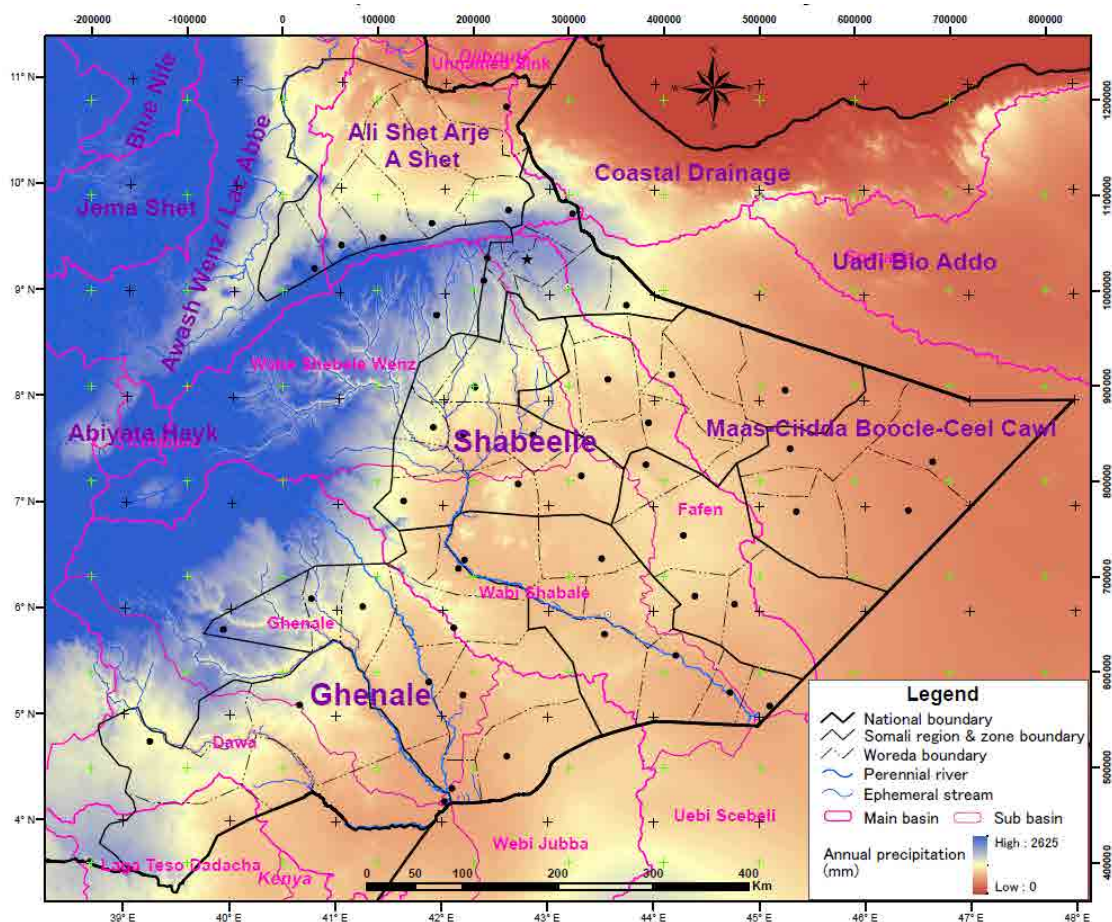


図 7.3: ソマリ州と周辺の年間降水量分布図

地下水涵養量に最も重要と考えられる要因は年間平均降水量であり、調査地域ではエチオピアのその他の地域と比べ平均降水量は約 1/3 しかない。ソマリ州における水資源がエチオピアの他地域と比べて少ないと判断できる。図 7.3 の降水量分布図にはソマリ州の主要地域の区分を表示し、各地域の降水量を以下の表 7.3 に示す。

表 7.3: 主要地域別の降水量分布

Name	Area(km ²)	Max (mm)	Min (mm)	Average (mm)
Ghenale	195,408	1,890	238	513
Shebele	251,756	1,376	244	492
Ali Shet Arje A Shet	52,908	1,187	160	456
Maas-Ciidda Boocle-Ceel Cawl	232,171	793	141	240

表 7.3 に示したとおり、調査地域のソマリ州内の主要地域の年平均降水量はわずか 500mm 前後である。ソマリ州内の地域はいくつかの小地域に細分されるが、地形条件や気象条件の差により、地域の水資源環境は異なる。また水系の源頭部にある地域では比較的降水量が多く、下流域と比較すると年平均降水量で倍ほどの差がある。上下流域間の降水量の差により、地下水の涵養は主に上流部で行われていると考えられる。

7.3.3 可能蒸発散量分布図

図 7.4 は、ソマリ州及びその周辺地域の年平均可能蒸発散量の分布を示す。図面は FAO と USNASA が共同で公表した 2 次データである可能蒸発散量グリッドを基に作成した。世界の多くの地域では、降水量が地下水の涵養量に最も大きな影響を与えている。しかし、地下水の涵養量は降水量のみにより決まるものではなく、降水量と蒸発散量とのバランスにより決定される。つまり、蒸発散量と比較して降水量が多ければ地下水涵養量も多くなると一般的に考えられる。降水量分布図により本調査地域のソマリ州ではエチオピアの他地域と比べて、降水量が少ないことを示したが、一方で可能蒸発散量分布図に示した結果はソマリ州の可能蒸発散量は他の地域と比べて大きいことを示している。

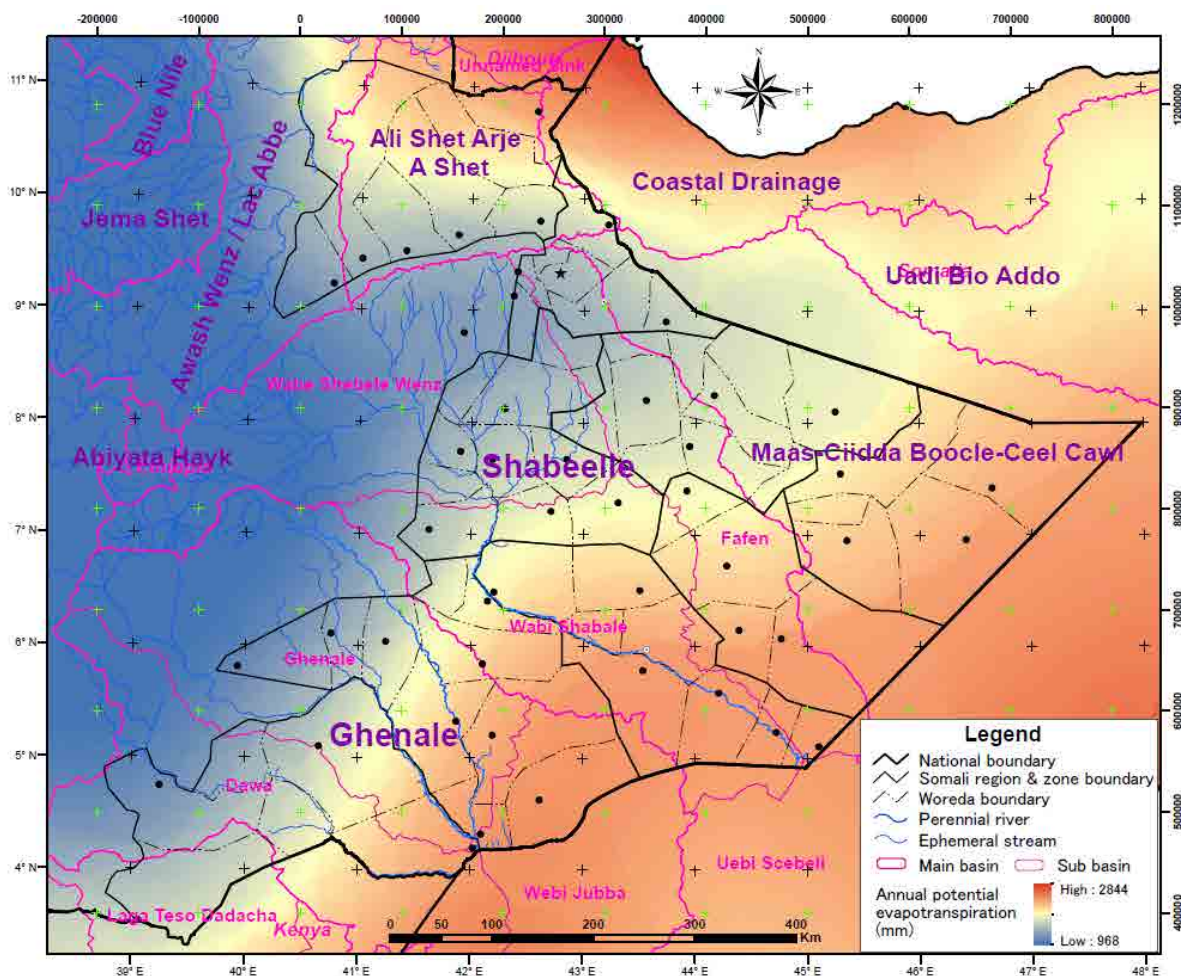


図 7.4: ソマリ州とその周辺の年間可能蒸発散量分布図

蒸発パンで測定した蒸発量と降水量を比較して地下水涵養量を直接的に推測することは困難である。しかし、地下水涵養量は降水量と蒸発散量のバランスに基づくため、異なる地域での降水量と可能蒸発散量の比率を比較して、可能蒸発散量が降水量より大きい地域は地下水涵養量が少ないと推測する手法がある。この考え方をを用いて、降水量分布図と同様にソマリ州内及び周辺地域での可能蒸発散量の分布について、表 7.4 にまとめた。

表 7.4: 主要地域の可能蒸発散量分布

Name	Area(km ²)	Max (mm)	Min (mm)	Average (mm)
Ghenale	195,408	2,590	1,101	1,941
Shebele	251,756	2,440	1,103	1,978
Ali Shet Arje A Shet	52,908	2,772	1,522	2,126
Maas-Ciidda Boocle-Ceel Cawl	232,171	2,665	1,702	2,302

降水量に影響する要因の一つは地形である。同じ流域内においても標高の高い地域は通常標高の低い地域より降水量は大きい。この地形条件は可能蒸発散量にも影響し、降水量とは逆に標高の高い地域は平均気温が低いので、標高の低い地域より可能蒸発散量も低くなる。その結果、標高の比較的高い上流域にある地域の可能蒸発散量は小さく、下流域では大きくなる。上・下流域間の可能蒸発散量を比較すると約 2/3 の差が出てくる。

可能蒸発散量は真の蒸発散量ではないため、その値を降水量より直接差し引いて涵養量を求めることができない。しかし、可能蒸発散量と比べて降水量の割合が高ければ地下水涵養量は相対的に多いと考えられる。

表 7.5: ソマリ州における降水量と可能蒸発散量の比較

Name	R_mean (mm)	E_mean (mm)	R/E(%)	Rank
Ghenale	513	1,941	26.4%	1
Shebele	492	1,978	24.9%	2
Ali Shet Arje A Shet	456	2,126	21.4%	3
Maas-Ciidda Boocle-Ceel Cawl	240	2,302	10.4%	4

R_mean: Annual average precipitation(年間平均降水量)

E_mean: Annual average potential evapotranspiration(年間平均可能蒸発散量)

R/E(%): Percent of ratio for precipitation and potential evapotranspiration(降水量と可能蒸発散量との比)

同じ地域においても地形等の自然条件により涵養量が均一に分布していることはほとんどない。ソマリ州内の主要地域別の平均降水量、平均蒸発散量及び平均蒸発散量に対する降水量の比率を表 7.5 に示した。この比較結果に基づき主要地域における地下水涵養量区分を行った。

区分結果は、自然環境図、降水量分布図と可能蒸発散量分布図をそれぞれ比較すると、相互の相関はかなり高いと言える。表 7.6 は、調査地域であるソマリ州内の主要地域をさらに細分して各地域の降水量と可能蒸発散量を比較した結果である。

表 7.6: 地域の細分による降水量と可能蒸発散量の比較

Main Name	Name	R_mean (mm)	E_mean (mm)	R/E(%)	Rank
Shabeelle	Wabe Shebele Wenz	730	1,489	49	1
	Fafen	396	2,074	19	2
	Uebi Scebeli	402	2,348	17	3
	Wabi Shabale	356	2,183	16	4
Ghenale	Ghenale	630	1,685	37	1
	Dawa	474	1,846	26	2
	Webi Jubba	373	2,447	15	3
Lagh Dera	Laga Teso Dadacha	450	1,968	23	---
Ali Shet Arje A Shet	Ali Shet Arje A Shet	456	2,014	23	---

R_mean: Average precipitation(年間平均降水量)

E_mean: Average evapotranspiration(年間平均可能蒸発散量)

R/E(%): Percent of ratio for precipitation and potential evapotranspiration(降水量と可能蒸発散量との比)

図 7.5 は地下水涵養量を区分した結果を自然環境図を背景に示したものである。図示した区分結果は、降水量と可能蒸発散量の比率に基づいて得られたが、これはひとつの例であり、最終の WRIM には更に重み付けを行ったデータを利用する。

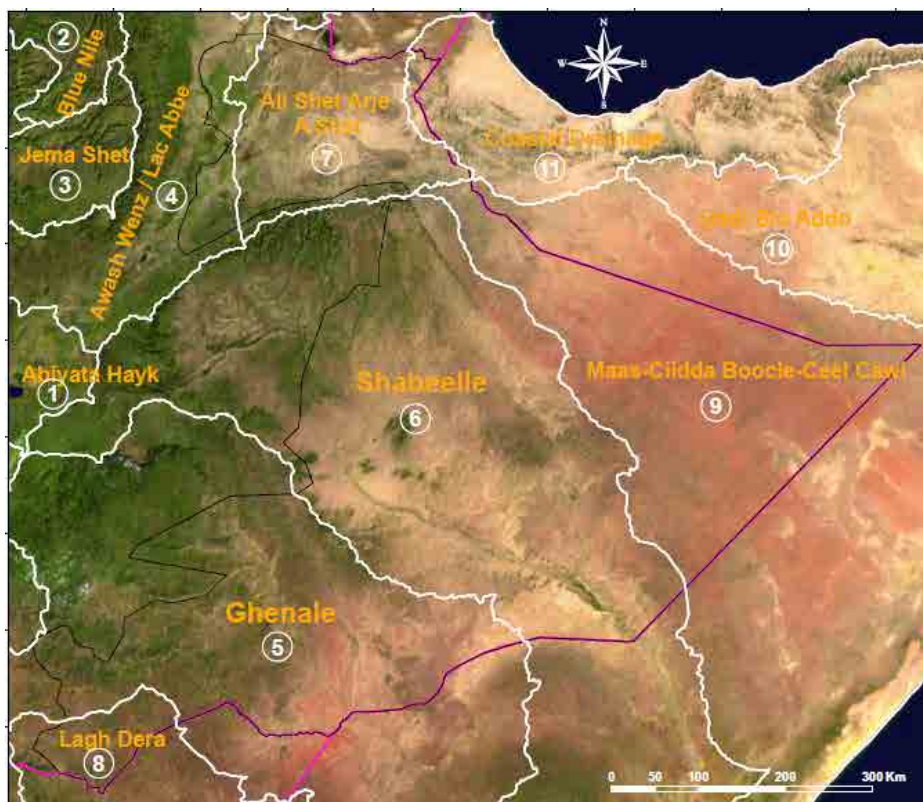


図 7.5: 地下水涵養量を区分した結果

7.3.4 植生分布図

地域の植物の根圏域に常に植物の水分供給に十分な水分がある場合は、その地域にある程度の降水があることを示している。一方、根圏域の水分は浅い地下水面とも関連があり、根圏域の水分は毛細管作用により地下水面から涵養を受けるか、降水により地表から涵養をうける。よって、植生の分布は地下水解析に直接利用するデータではないが、降水量あるいは地下水面の深さを検討する時の参考情報として利用できる。

図 7.6 は、ソマリ州及びその周辺の植生分布状況（樹木の地表被覆率）を示している。図面の作成には 2 次データである千葉大学が公表した植物分布の割合のグリッドデータを利用した。図にはソマリ州内及び周辺地域の主要河川流域も示しており、各主要河川流域での植生分布は表 7.7 にまとめている。表に示したように、調査地域にある主要地域の Ghenale と Shebele では全体として比較的高い植生分布がある。

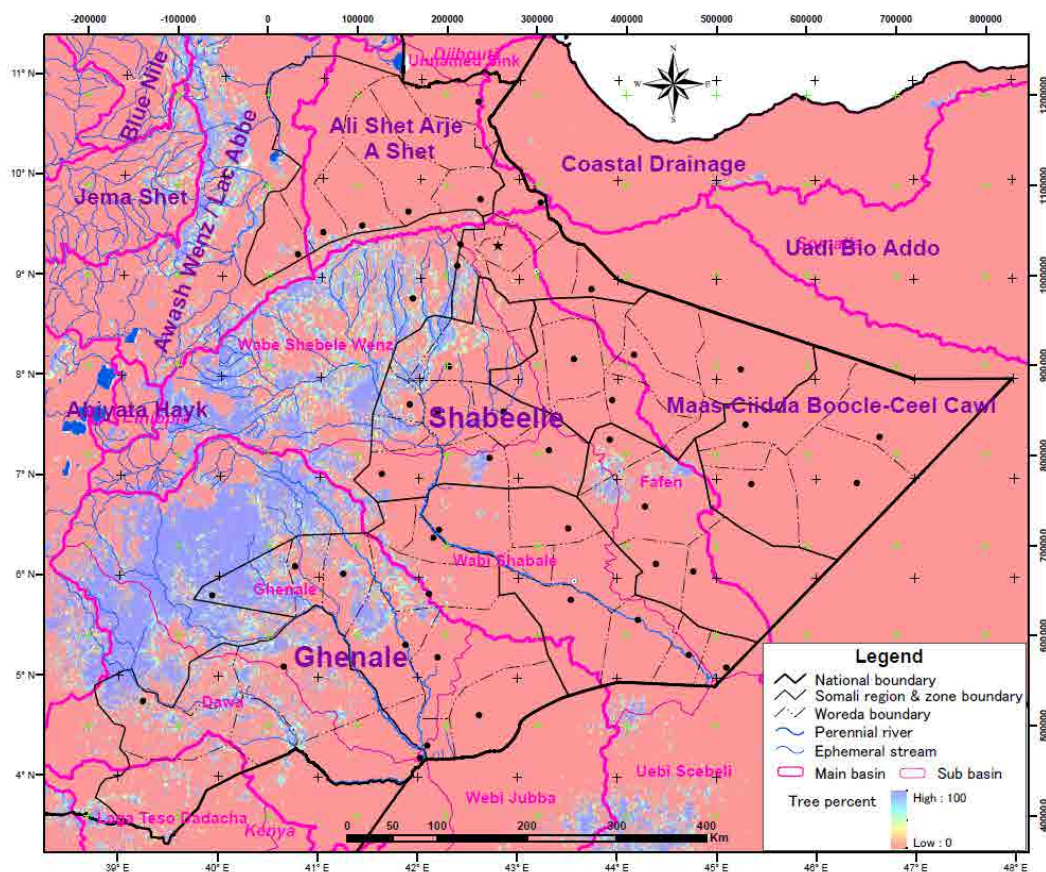


図 7.6: ソマリ州及びその周辺の植生分布図

表 7.7: ソマリ州とその周辺地域にある主要サブベースンの植生分布

Name	Area(km ²)	Max (%)	Min (%)	Average (%)
Ghenale	195,408	100	0	12.74
Shebele	251,756	100	0	6.14
Ali Shet Arje A Shet	52,908	77	0	1.68
Maas-Ciidda Boocle-Ceel Cawl	232,171	82	0	0.05

表 7.8 には、ソマリ州の主要地域をさらに細分して植生分布の平均値を示した。

表 7.8: 細分した地域の植生分布

Main Name	Name	Area(km ²)	Max (%)	Min (%)	Average (%)
Shabeelle	Wabe Shebele Wenz	79,622	100	0	13.92
	Uebi Scebeli	55,539	100	0	4.23
	Fafen	49,190	100	0	0.91
	Wabi Shebele	67,406	100	0	2.34
Ghenale	Ghenale	82,139	100	0	21.43
	Dawa	60,301	100	0	10.83
	Webi Jubba	52,968	96	0	1.42
Lagh Dera	Laga Teso Dadacha	33,137	59	0	0.57
Ali Shet Arje A Shet	Ali Shet Arje A Shet	42,064	77	0	0.66

植生分布は、降水量分布、可能蒸発散量分布及び降水量分布と可能蒸発散量と比較した結果、それぞれとの関連性が高く、その平均値は上流部で高く中流や下流部では低い。上・下流域間の差は10倍程度になる。

7.3.5 地形

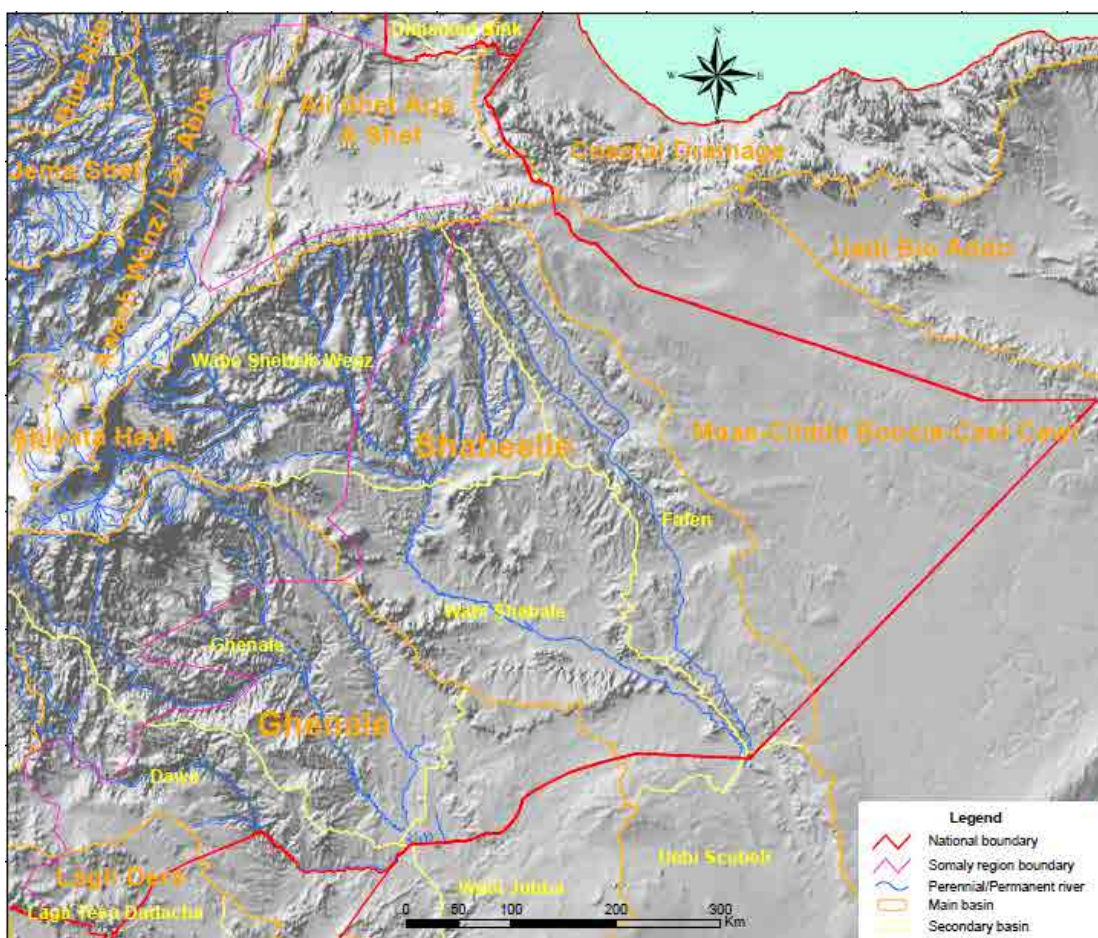


図 7.7: ソマリ州とその周辺における地形と帯水層区分

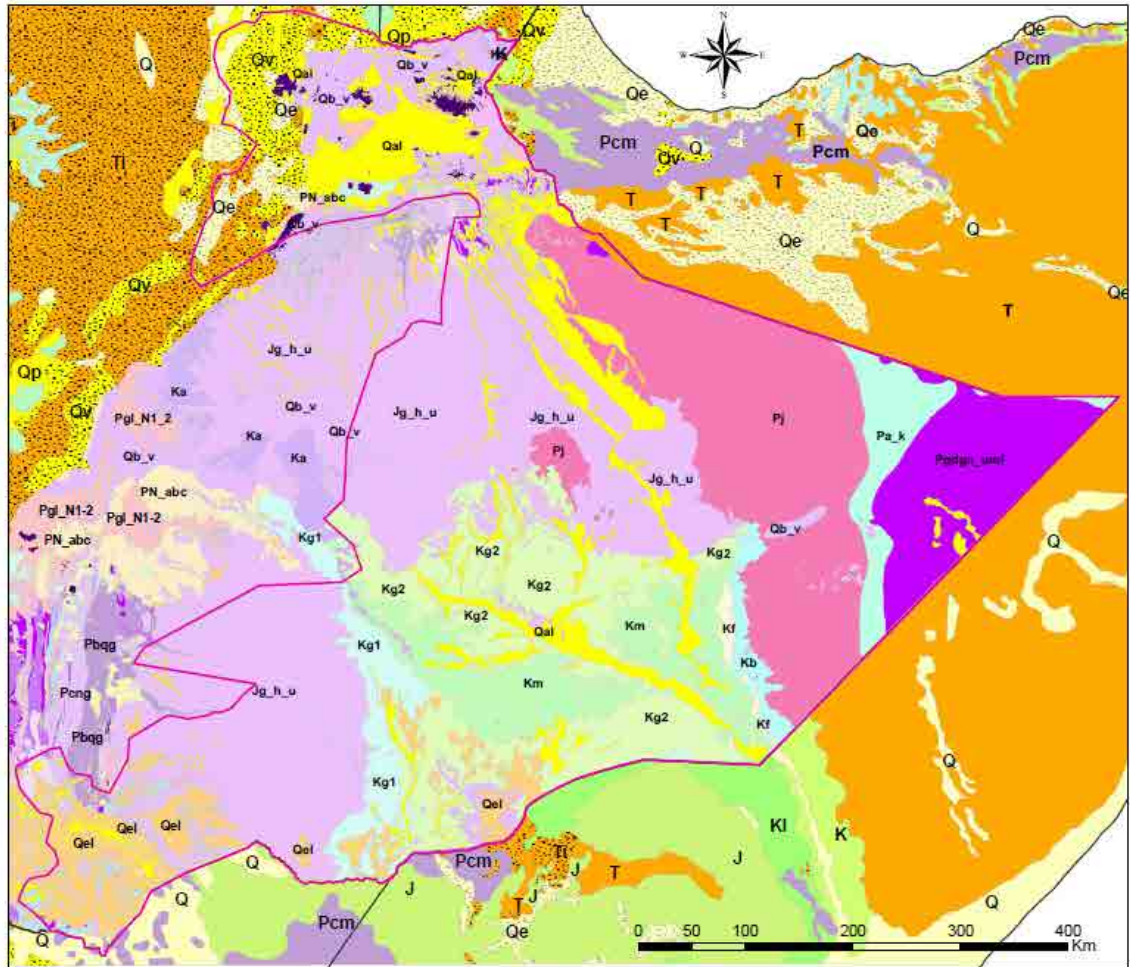
地下水は地下水盆単位で形成・貯留及び流動している。地下水盆を区分する第 1 の条件は地形であり、地形は地下水の涵養及び流動の両方に影響を及ぼす。

図 7.7 には、ソマリ州及び周辺地域の地形特徴を示している。図面は地下水解析及び他の多くの解析に利用されている USNASA が公表した 2 次データである SRTM を基にして作成した。図に示すとおり、ソマリ州及び周辺地域においては東西方向に伸長する山脈が主要分水嶺であり、主要流域はこれにより南北方向に分けられている。ソマリ州の大部分の地域はその分水嶺の南側に位置している。この主分水嶺は南あるいは南東に向かって低くなるが、多くの山脈や丘陵及び谷が分水嶺の走向と直交に南北方向に派生・伸長している。これらの山脈や丘陵がソマリ州及び周辺地域を更に細かく区分する基礎となっている。

上記のうち、ソマリ州に含まれる主要な地域は、7 つある。そのうち、北側にある Ali Shet Arje A Shet と東側にある Maas-Diidda Boocle-Ceel Gawl は、図 7.3 に示すように降水量の極めて少ない乾燥地域であり、地域内に通年河川が存在しない。一方、中部に位置する Shebele 地域と西部の Ghenale 地域は、エチオピアの他の地域と比べて乾燥した地域に分類される。一般的に河川が通年で流れるのは地下水からの涵養である基底流によるもので、これらの地域内の地下水は、常に河川へ流出するのに十分な量があることを示唆している。

7.3.6 地質

前述のとおりリモートセンシングによる地質の解析は困難である。しかし、WRIM の作成には地質関連データが必要であるため、表層地質データは UNESCO の地質図を基にして作成した（図 7.8 参照）。UNESCO の地質図の縮尺は 1:500,000 で比較的詳しい地質区分をしている。だが、ソマリ州を中心に作成されており、周辺関連他地域をカバーしていない部分がある。それら不足部分の表層地質情報は USGU が公表した 1:2,500,000 の地質図を利用して補完した。表層地質図に示したとおり、ソマリ州北部には主に第四紀の堆積層が分布しているが、中部から南部の大部分の地域は第三紀かより古い中生代の地層で覆われている。南西部地域を除き、ごくわずかに存在している第四紀堆積物はソマリ州内の主要河川である Shebele 川と Jarar 渓谷に沿って主に分布している。



Legend

UBESCO geologg map

Qal: Aluvium	PN_abc: Basalt	Pcsc_gtng_fgq: Gneiss and granite	PE_b_bqg_fts: Schist_T
Qalg: Gravel	Pj: Sandstone	PttS: Serpentinite	Kb: Limestone_K
Qtr: Travertine	PE2b_P: Sandstone and conglomerate	PE2b_S: Phyllite	Ka: Sandstone_K
Qel: Eluvium	Pamp_psva: Amphibolite	Pmgt_M: Migmatite	Km: Sandstone and limestone_K
Qcal: Calceret	Pgt1_H: Hornbolite	Pgt_cdt_cgn: Granite	Kg1: Shale and limestone_K
Qls: Lake sediment	Pumf: Gabbro	Pgt2: Granite and quartz	Kf: Shale_K
Qb_v: Basalt	Pgb: Gabbros and amphibolite	PE2b_G: Granite and schist	Kg2: Shale gypsum dolomite_K
Tv: Ahs and lava flows	PE2b_C: Chlorite	Pmdt_Q: Quart and diorite	Ja_Mlsst_pzt: Standstone_J
Qv_N1-2gg_n: Recent volcanics	Pgt1_D: Diorite	Pfgg_cng: Quartz and gneiss	Jg_h_u: Limestone_J
Tsy: Graite	Pgdgn_umf: Gneiss	Pcng: Quartz and schist	L&S: Lakes and swamp
Pgl_N1-2: Basalt	PttS_cgn_eb: Schist	N2ab: Basalt	
Pa_k: Limestone	PE1_bqg: Gneiss and schist	Pdtgn: Gneiss_T	
PE2b_M: Marble	Pmgt_G: Gneiss and migmatite	Ja: Sandstone and shale_T	

USGS geology map

Q: Quaternary	T: Tertiary	Kj: Cretaceous and Jurassic	Lake and swaps
Qe: Holocene	Ti: Tertiary extrusive rocks	J: Jurassic	
Qp: Pleistocene	K: Cretaceous	JI: Lower Jurassic	
Qv: Quaternaty extrusive rocks	KI: Lower Cretaceous	Pcm: Precambrian	

図 7.8: ソマリ州とその周辺の表層地質

一般に第四紀に形成された砂礫層は透水性が良く、多くの場合、帯水層として区分される。一方、第三紀以前に形成された地層はその二次間隙に地下水を貯留しており、間隙の量と連続性は地層の種類より、地層形成後の構造運動に影響されるものである。従って、一般に帯水層として分類し難いが、大きな断層の破碎帯がある場合、その断層により多くの割れ目が生じることがあるため、その部分は帯水層として考えられる。

帯水層区分あるいは **WRIM** を作製する場合、表層地質よりも地下水面以下にある地質が重要ではあるが、掘削調査なしでその地質を判断することは難しい。一方、表層が第三紀以前の地層であればその下に第四紀堆積層が出てくることはない。従って、表層地質が岩盤ならその下位も類似した岩盤であると推測し、表層地質図に示した表層地質データを利用することで帯水層の能力を判定する。

帯水層の能力の区分はその透水係数による。しかし、同じ地層でも透水係数が数倍から 10 の数乗までの幅があり、異なる地層の場合はその差が 10 の 10 乗まで大きくなることもある。そのため、高精度の透水係数データを取得するには、地層のサンプルを取り室内実験を実施するか、井戸を掘削して現場透水試験により測定する必要がある。一方、これまで世界各地の地下水専門家が各地で実施された多くの室内実験と揚水井戸の観測結果を収集し、各種地層の透水係数を纏めている。その結果によると、大きな透水係数を持つ礫層はその値が $1 \times 10^{-3} \sim 3 \text{ cm/sec}$ の間にあるのに対し、調査地域にも分布する玄武岩層の値は $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ の間にある。また、花崗岩の透水係数は $1 \times 10^{-18} \sim 1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ まで変動する。これだけの変動幅があるため、室内実験や現場透水試験を実施する必要がある。上述した 3 種類の地層の透水係数のデータ幅と平均値を比較すると、その差は地層の種類により大きな差があることがわかる。従って、表層地質図に示した地質区分を基に、上述の地下水専門家がまとめた透水係数のデータベースの平均値を利用して、ソマリ州内にある各地の帯水層能力の区分を実施し、その結果を表 7.9 にまとめた。

表 7.9: 岩相による透水係数のランク区分

Lithology(岩相)	Min (cm/sec)	Max (cm/sec)	Average (cm/sec)	Rank
Gravel ^{1) 3)}	0.03	3	0.1	1
Eluvium ⁴⁾	0.01	1	0.09	2
Ash and lava flows ⁴⁾	0.0001	3.3	0.036	3
Dolomite ⁴⁾	0.0007	0.29	0.0097	4
Lake sediments ⁴⁾	0.00001	0.001	0.004	5
Alluvium ¹⁾	1.0 x10 ⁻⁸	1	0.0021	6
Limestone ^{1) 2)}	1.0 x10 ⁻²¹	0.75	0.0016	7
Travertine ¹⁾	0.0002	0.00036	0.00028	8
Calceret ¹⁾	0.0002	0.00036	0.00028	9
Phyllite ⁴⁾	---	---	0.00011	10
Gabbro ¹⁾	---	---	0.0001	11
Basalt ^{1) 2)}	1.5 x10 ⁻¹⁰	0.01	0.000089	12
Sandstone ¹⁾	3.7 x10 ⁻⁸	0.0001	0.000088	13
Serpentinite ¹⁾	7 x10 ⁻⁶	0.0015	0.000082	14
Conglomerate ^{1) 4)}	1.0 x10 ⁻⁶	0.0063	0.000079	15
Marble ⁴⁾	8.0 x10 ⁻⁷	5.0 x10 ⁻³	0.000063	16
Recent vacancies ^{1) 3)}	1.3 x10 ⁻⁷	0.3	0.000053	17
Chlorite ¹⁾	5.0 x10 ⁻⁶	0.0002	0.000047	18
Granite ^{1) 2) 3)}	1.0 x10 ⁻¹⁸	0.02	0.000043	19
Diorite ¹⁾	5.0 x10 ⁻⁶	0.0005	0.000042	20
Amphibolite ¹⁾	5.0 x10 ⁻⁶	0.00059	0.000036	21
Quartz ^{1) 4)}	1.0 x10 ⁻¹⁰	0.00026	2.9 x10 ⁻⁶	22
Schist ^{1) 2)}	1.0 x10 ⁻¹⁰	0.00001	1.3 x10 ⁻⁶	23
Shale ^{1) 2) 4)}	1.0 x10 ⁻²¹	0.004	5.4 x10 ⁻⁷	24
Gypsum_dolomite ⁴⁾	1.0 x10 ⁻⁸	1.0 x10 ⁻⁶	1.0 x10 ⁻⁷	25
Gneiss ¹⁾	1.0 x10 ⁻¹⁴	0.00001	3.16x10 ⁻¹⁰	26
Migmatite ^{1) 2)}	5.0 x10 ⁻¹³	6.0 x10 ⁻¹⁰	1.73x10 ⁻¹¹	27

- 1): From Yanagisawa, Furuya et al, Study on the permeability of rock mass in Japan, 1992.
 2): From Sato, Watanabe, Groundwater handbook, 1978.
 3): From Domenico & Schwarz, Physical and Chemical Hydrology, 1990.
 4) From other reference.

上記データベースの中で最も信頼度が高いのは、参考文献 1)の「我が国における地盤の透水性に関する調査・研究、柳澤孝一、古屋和夫、その他、1992」であると考えられる。収集した 552 件の透水係数に関連する資料の殆どは、トンネルやダム建設のための調査結果であり、直接地下水の利用には関わらない。一方、地下水利用の目的で作成した井戸は透水係数と層厚の両方を考慮してスクリーンの位置、つまり、取水帯水層の位置を決めるが、その部分は通常その井戸の掘りぬいた地層の中で透水係数の比較的大きい層である。よって、給水目的で作成した井戸から得られた透水係数は、各種地層で相対的に高い値となる。そのためこの結果を利用すると、地層の透水係数の平均値は、真の平均値より大きくなる可能性が出てくる。

表 7.9 のランキング区分は、平均透水係数の大きさに従っている。しかし、各種地層の透水係数の実際の差は反映できない。ランキング 5 番の湖沼堆積層と 6 番の沖積層の

間には2倍程の差があり、21番の角閃岩と22番の石英岩の間には12倍以上の差がある。従って、地層データを利用してWRIMの区分をする際には、表7.9で示すランキングでなく、透水係数平均値の実データを利用する。各地層タイプの透水係数平均値を明確に示すために、平均値の対数分布を図7.9に示す。

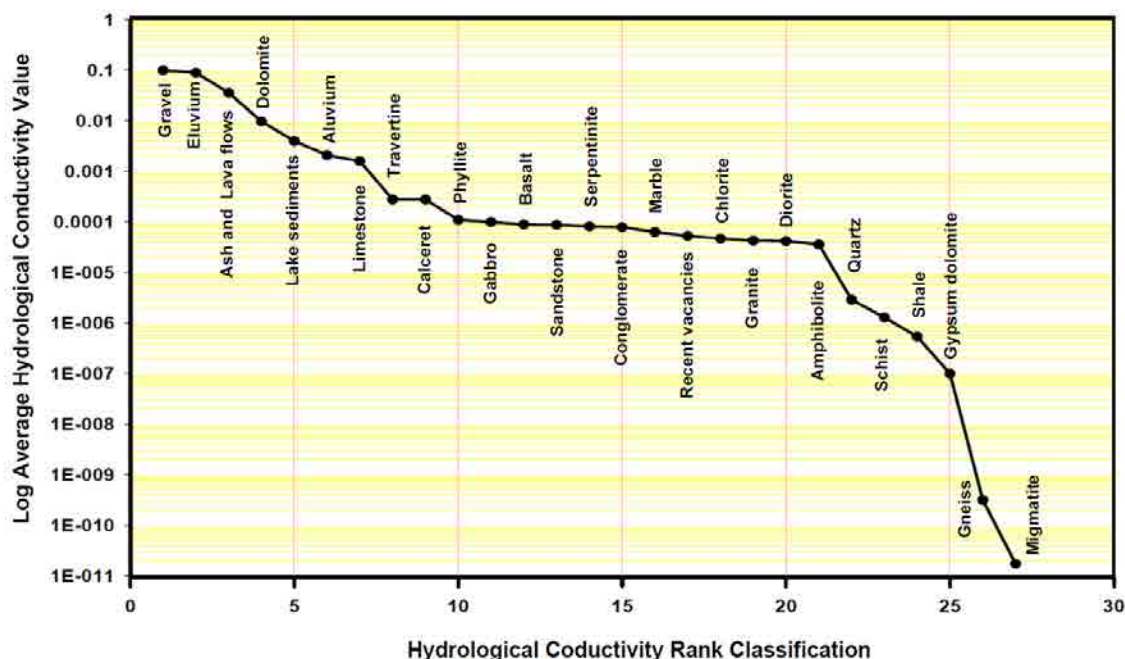


図 7.9: 透水係数平均値対数のランク区分

7.3.7 リニアメント

1次データを利用してリニアメント解析を行った。解析に利用した衛星画像は表7.1に示したとおり、LandsatとPALSARの2種類である。収集したLandsatとPALSARデータのカバーする範囲を図7.10に示す。

1次データを利用したリニアメントの解析には、オリジナルデータの抽出、統合、線状構造の抽出、ノイズの削除、ノイズ削除後の線状構造の変換、変換後の線状構造のチェックと修正等、多くのプロセスが必要であり、2次データを利用する場合と比較して長い作業時間が必要となる。また、リモートセンシングによるリニアメント解析では地質的要因はほとんど考慮していない。

Landsatの解像度30mに対してPALSARの解像度は約12.5mであるため、より細かいリニアメント解析ができる。PALSARイメージ一枚は4,800km²の地域をカバーでき、解析に必要な調査対象の主要地域をカバーするため全55枚のイメージデータを収集した。それらのデータを利用して細かいリニアメントを抽出した結果、総長227,286km、全93,193本のリニアメント線が抽出された。

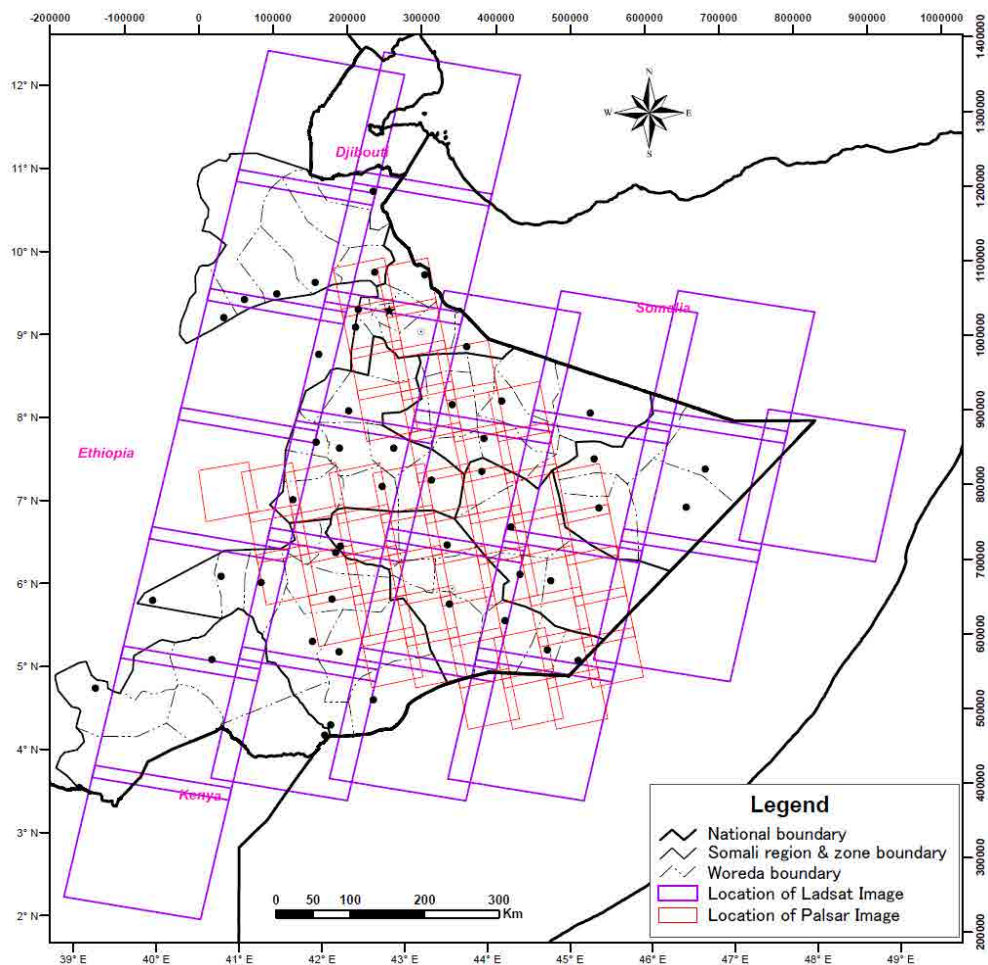


図 7.10: 収集した Landsat と PALSAR イメージの範囲

調査地域のソマリ州とその周辺部を含む地域にあるリニアメントの各方向での総長をまとめて、図 7.11 と図 7.12 に示している。

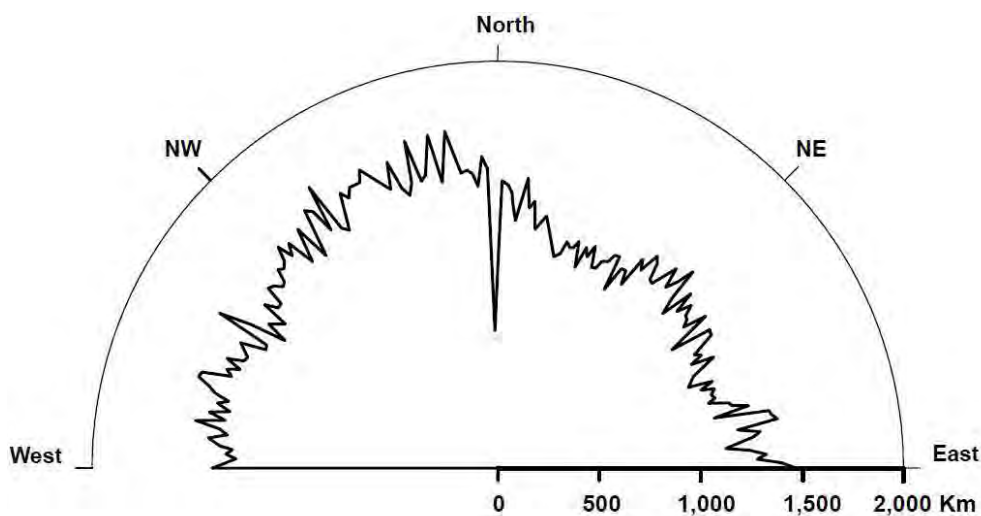


図 7.11: ソマリ州内にある方向別のリニアメントの総長

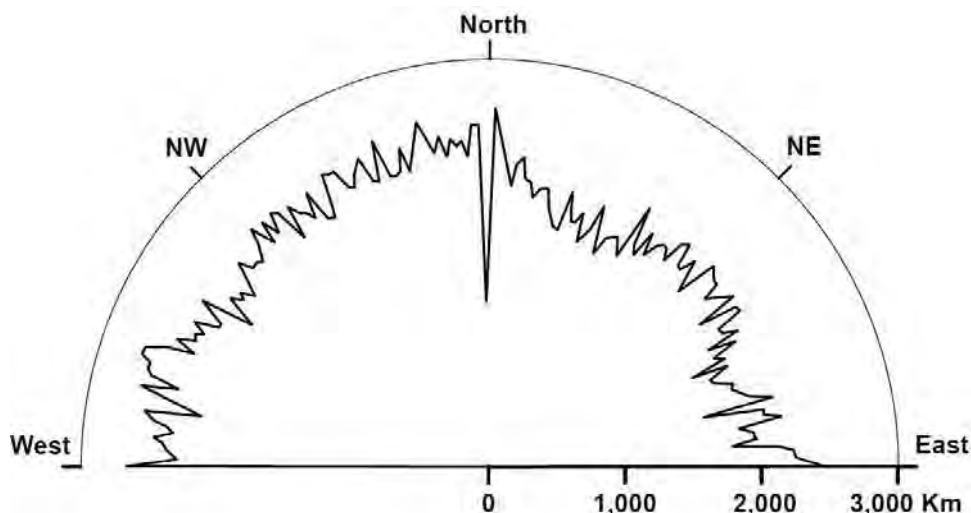


図 7.12: ソマリ州内及び近辺地域にある方向別のリニアメントの総長

リニアメント抽出作業のプロセスを説明する例として図 7.13 に 2 枚の PALSAR データ PASL4101006201956071207310082 と PASL41010062019-56151207310083 統合後のイメージを示している。画像には多くの線状構造が含まれているのは明らかである。

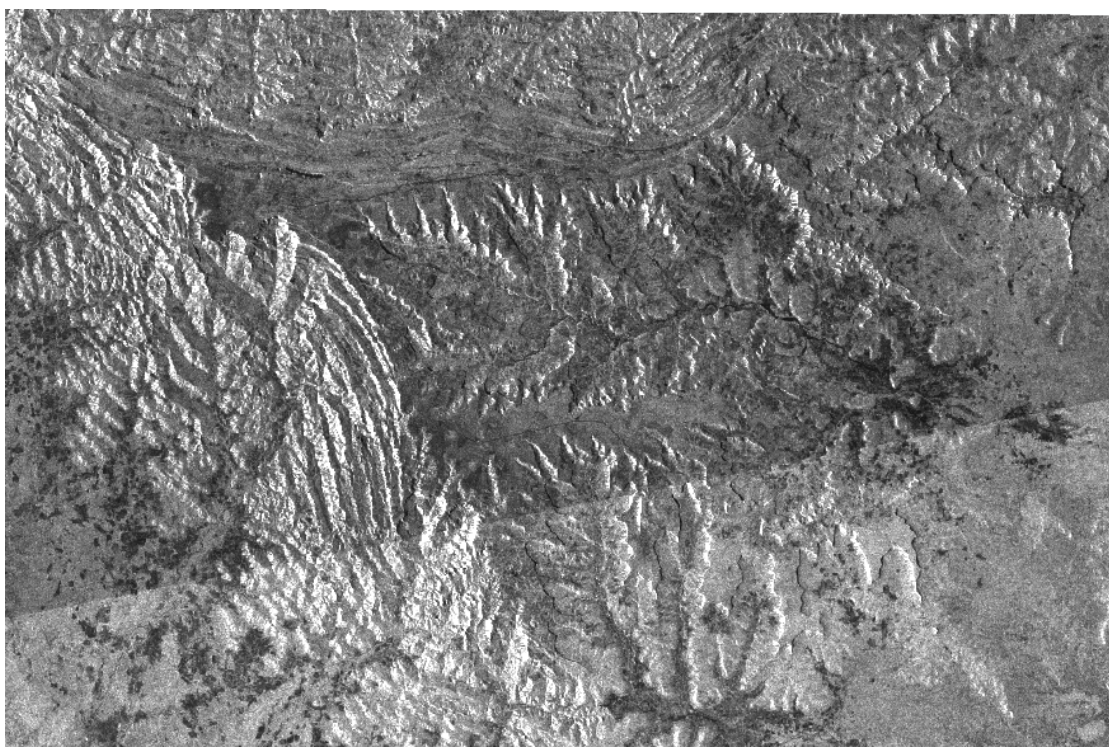


図 7.13: PALSAR イメージの統合図(一部)

(PASL4101006201956071207310082とPASL4101006201956151207310083)

これらの線状構造の抽出のために多くの専門家が様々な手法を試みており、最も知られているのはラプラシアン(Laplacian)法やソベル(Sobel)法等のリニアメント解析手法で

ある。しかしながら、現状では衛星データを利用したリニアメント抽出で信頼できる方法が確立されていない。一方、衛星画像からリニアメントを抽出する手法は、画像内で色が明らかに異なる線状模様を取り出すことである。つまり、隣接するセルの値に大きな差があることを利用する。これまで良く利用されているラプラシアン法やソベル法もこの理論に基づき開発された解析手法である。本調査では、リニアメントとして隣接セルの間の数値差が最も大きいものを抽出する“パーセント相違法（Percent Rise Method）”を利用することにした。この手法では、計算対象セルと周辺すべてのセルとの間の数値を比較してパーセントの絶対値に換算してから、パーセントの最大値をその計算対象セルの解析結果として出力する。

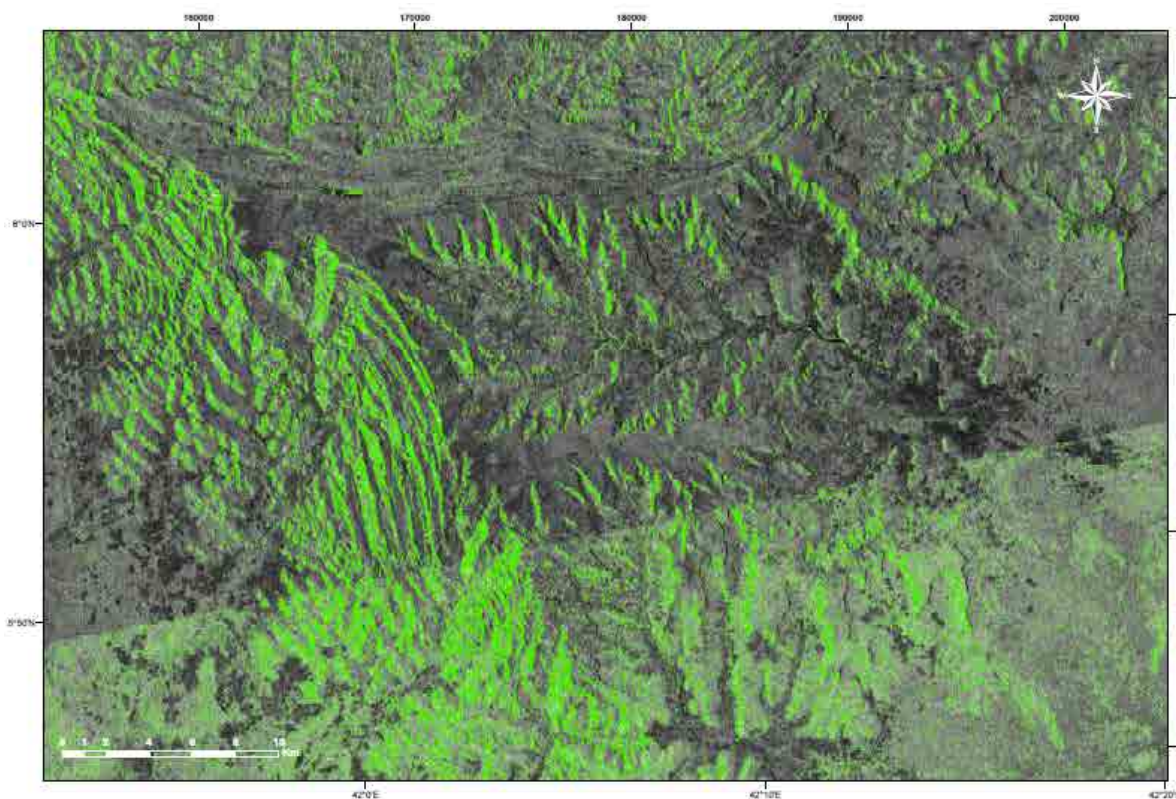


図 7.14: リニアメント抽出図(多数のノイズ有り)

図 7.14は、この方法を利用して抽出したリニアメント図である。主要なリニアメントと考えられる部分は、抽出作業で取り込まれる多くのノイズも含まれている。このノイズを除去するために、リニアメント抽出と同様に多くの手法があるが（例えばフィルタ(Filter)あるいはマジョリティフィルタ(Majority Filter)法やアグリゲイト(Aggregate)法等）、今回の解析ではGISソフトに含まれるNeighborhood法を利用した。ノイズの除去後、衛星画像上でうまく繋がっているリニアメントの抽出を行ったが、ノイズの影響で繋がっているリニアメントが繋がらなくなる問題が残っている。この問題については解決方法がまだ開発されていない。目視でリニアメントの先端から延長しそうなリニアメントが存在しているかを判定するのみである。図 7.15は手動（目視）で解析したリニアメント抽出の最終結果の例を示す。

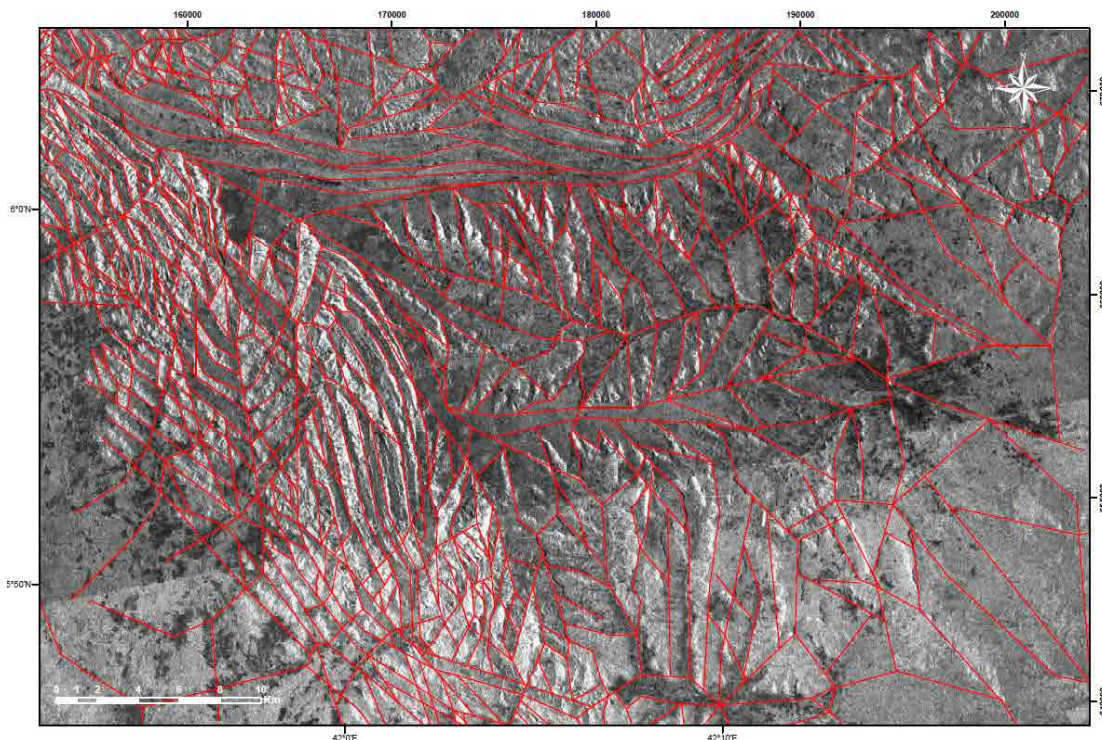


図 7.15: PALSAR によるリニアメント抽出結果例

7.3.8 主要地域の地形

地下水は、地下水盆を単位として形成及び流動しているので、調査地域全体を対象として概略的に地下水を検討する方法もあるが、それより細分した地域を単位に解析を実施した方がより精度の高い結果が期待できる。表 7.10 は、ソマリ州とその隣接地域の地形特徴の主要指標（地形標高）及びその面積を示している。

表 7.10: ソマリ州地域別の地形標高及び面積

Name	Ethiopia			
	Max (m) (最大標高)	Max (m) (最小標高)	Mean (m) (平均)	Area(m ²) (面積)
Shebele	4,179	188	1,043	191,675
Ghenale	4,383	165	1,079	139,935
Maas-Ciidda Boocle -Ceel Cawl	2,046	337	741	86,053
Ali Shet Arje A Shet	3,001	215	899	64,279

ソマリ州にある表 7.10 に示す主要地域の中では、最大標高値が 4,000m を超えた地域は地下水涵養量区分において上か中に区分され、それに対して、最大標高値が 2,000 – 3,000m 近辺にある地域では中か下に区分され、最大標高値が 2,000m 未満の地域は最下位に区分している。

7.3.9 地下水面と地形

水資源ポテンシャルの条件の一つは、利用可能な地下水面の深度情報である。地下水面の位置に大きく影響するのは地形である。地下水面は標高の高い地域で深く、低い所で浅い傾向がある。地形勾配が急になる所で、ある程度の地下水涵養がある場合、その急傾斜地の最低部で地下水が地表面に流出して河川を形成する。従って、地形変動は一つの重要な因子として **WRIM** に取り込む必要がある。地形の中では **WRIM** と密接に関連する要素として、次の3点が考えられるため、ここでは3つの要素を用いた別の試みとして以下の考えに基づいた解析を実施した（浅い地下水のポテンシャル評価）。

1. 低地域の地形：地下水は標高の高い所から低い所に流れるのはどの地域でも同じである。地形標高の低い所では、降水量から十分な涵養量が得られなくても山間地からの地下水流により涵養を受けられるため、地下水が形成される。また、地形の低い所で比較的高い地下水位が現われる可能性も考えられる。従って、どの地域でも盆地底かその近辺で、水資源ポテンシャルが比較的高くなると想定される。
2. 山間地にある緩勾配地域：地形データから急勾配の地域を抽出し、収集した河川データと比較する。その中に河川があれば、恒常河川、季節河川ともに、河川周辺では雨季に地下水位が地表面を超えることがある。河川水の流れがみられない乾季でも、地下水位が他地域と比較して相対的に高いと推測できる。一方、急勾配地域にある河川水及びその河川水に涵養された地下水の利用は地形の影響を受けることがある。河川の通っている山地でも急勾配とは限らず、緩勾配もある。この緩勾配地域は、河川の涵養には貢献しないが、周辺の山や丘陵と河川の両方から涵養を受けることができ、地形も緩やかで地下水位が周辺地域と比べて高く、水資源ポテンシャルが高いと判断できる。
3. 山地に隣接する平野地域：地下水面の形状が地形形状より緩やかになる原理に従い、山地域と平野地域の標高差が比較的大きいところで、地下水は河川を形成できるほど地表面に流出することがなくても、山地域との間に相対的に高い動水勾配が得られる。1)山からの涵養量が受けやすいこと、2)地下水位が相対的に高いことの2点により、水資源ポテンシャルが高いと判断できる。

以上の考え方を前提として解析を行った。

第1点目は地域毎に標高データを抽出し、底部となる抽出標高の最小値に最大ランクを与え、最大標高の部分に最小ランクを与える。**WRIM** の作成時に各評価地点での標高値を用いて与えられた重みをかける。

第2点目は浅層地下水解析の手法と似て、急勾配地域を抽出してから、収集した河川資料と比較して、急勾配地域内の河川周辺に平坦地がある場合、その地下水は山と河川

水の両方から涵養される可能性があるため、地下水位が通常比較的浅いと推定した。通年河川のある地域であれば年をとおして安定した給水が考えられるので、ランクは高い（例えばランク 1 に設定）。一方、平野地域あるいは降水量が少ない地域では、山地からの涵養により形成された地下水面は通常深いところにある。しかし、その地域に通年河川がある場合は、少なくとも河川沿いでは浅部に地下水面があり、しかも通年利用できるため、比較的ランクは高い（ランク 2 に設定）。上述した2種類の平坦地域において一時河川がある場合、雨季に地下水位は比較的浅いことに加えて乾季でも地下水位は下がるが、通常の地下水位変動幅は数 10m を超えることは極まれであることを考慮してランク 3 に設定した。これ以外の地域はランク 0 とする。

第 3 点目は、平野部近辺の急傾斜地域を抽出してから、抽出した急傾斜地域両側の地形変動特徴を考察する。平野部との境界から遠く離れていない山地部においてその標高が隣接平野地の標高と大きな差がなければ、地下水面と地形との差が大きくないので、山地部の深い地下水位に従い、地下水面が比較的深く、水資源ポテンシャルが小さいと判断した。一方、上流部と平野部に大きな標高差があれば、地下水面の変動は地形の変動より緩めなため、急傾斜地の底部分、つまり周辺の平野部あたりでは高められ、ポテンシャルが高くなる可能性がある。

a. 第1点目の解析

調査地域のソマリ州には、7つの主要地域がある。上記の手法に基づき、各地域内の地形標高の最大値、最小値及びランク区分の結果を例として図 7.16 に示す。

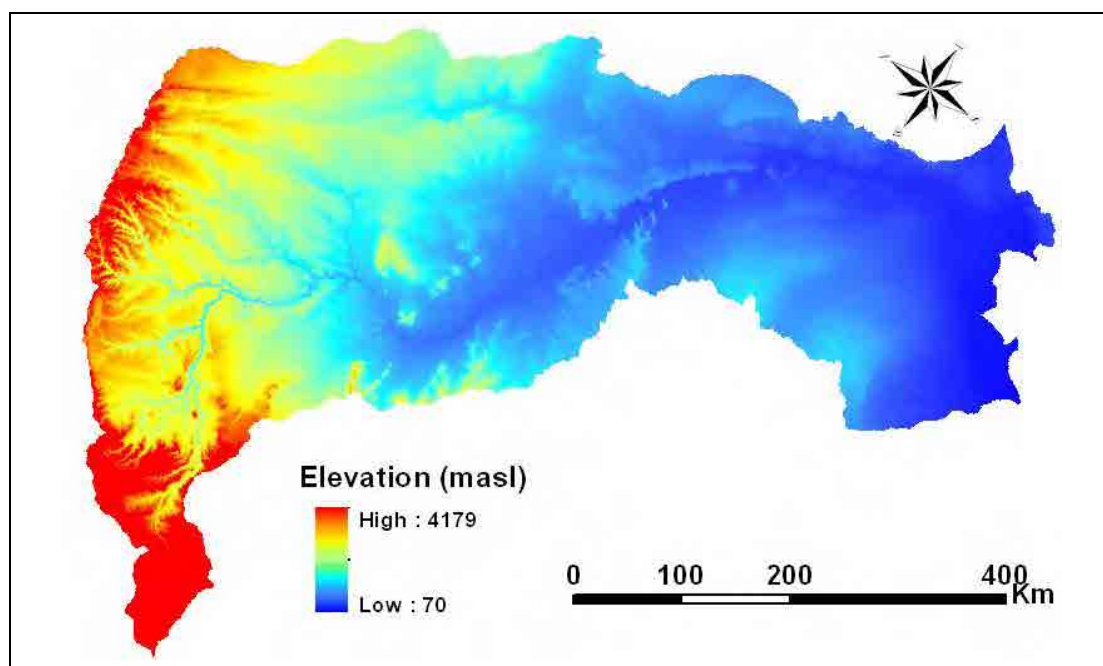


図 7.16: Shebele 地域の地形区分

b. 第2点目の解析

図 7.17 に示す第 2 点目の解析は急傾斜地域の抽出である。この解析を実施するために GIS プログラムに含まれているスロープ(Slope)ツールを利用した。

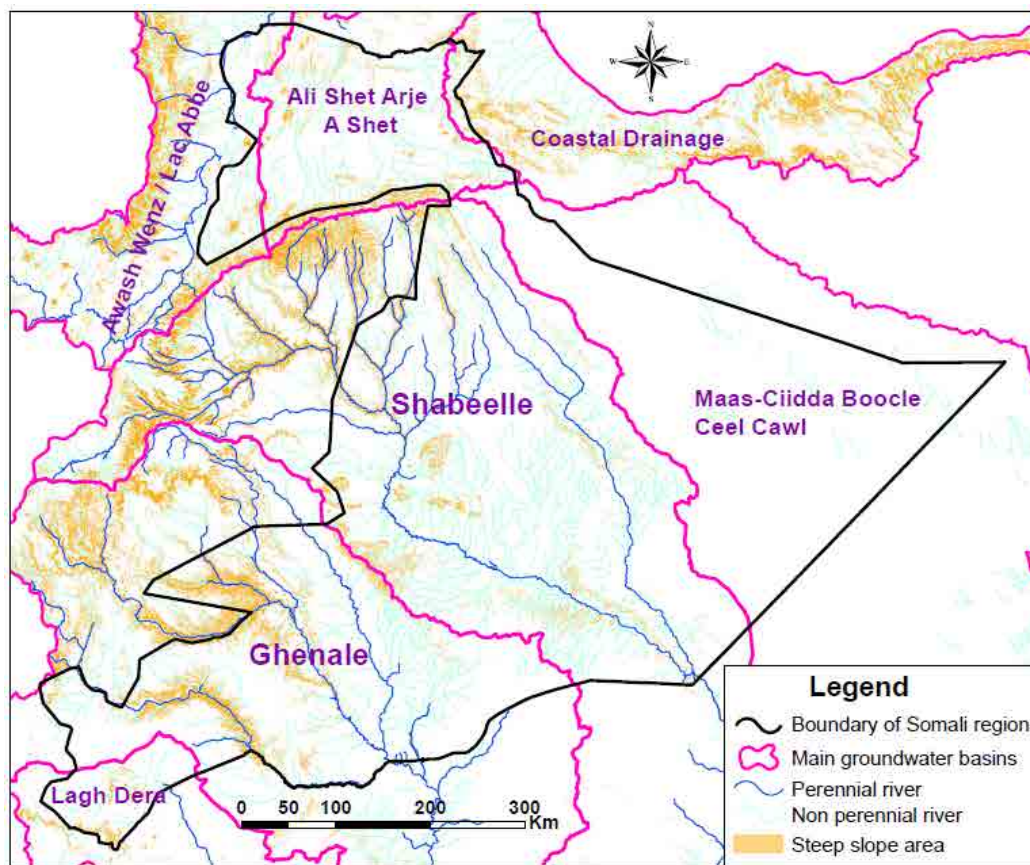


図 7.17: ソマリ州地域内の急傾斜地の分布

調査地域のソマリ州に含まれる地域の恒常河川の殆どは、斜度が 13 度より大きい比較的急傾斜の地域で形成されている。一方、ソマリ州東側にある地域の Maas-Ciidda Boocle Ceel Cawl には急傾斜地域はほとんどみられない。これは、涵養量が相対的に少ないこと、通年河川が存在していないことを示唆している。

山地の一部にも緩傾斜地域がある。その緩傾斜地に河川が流れると、地下水は河川と周辺の山地の両方から涵養を受け、地下水利用上および水資源ポテンシャル上有利である。前述した解析手法に従い、山地域にある河川周辺地形勾配が 2 度より小さい部分を抽出した平坦地区区分図を、図 7.18 に示す。

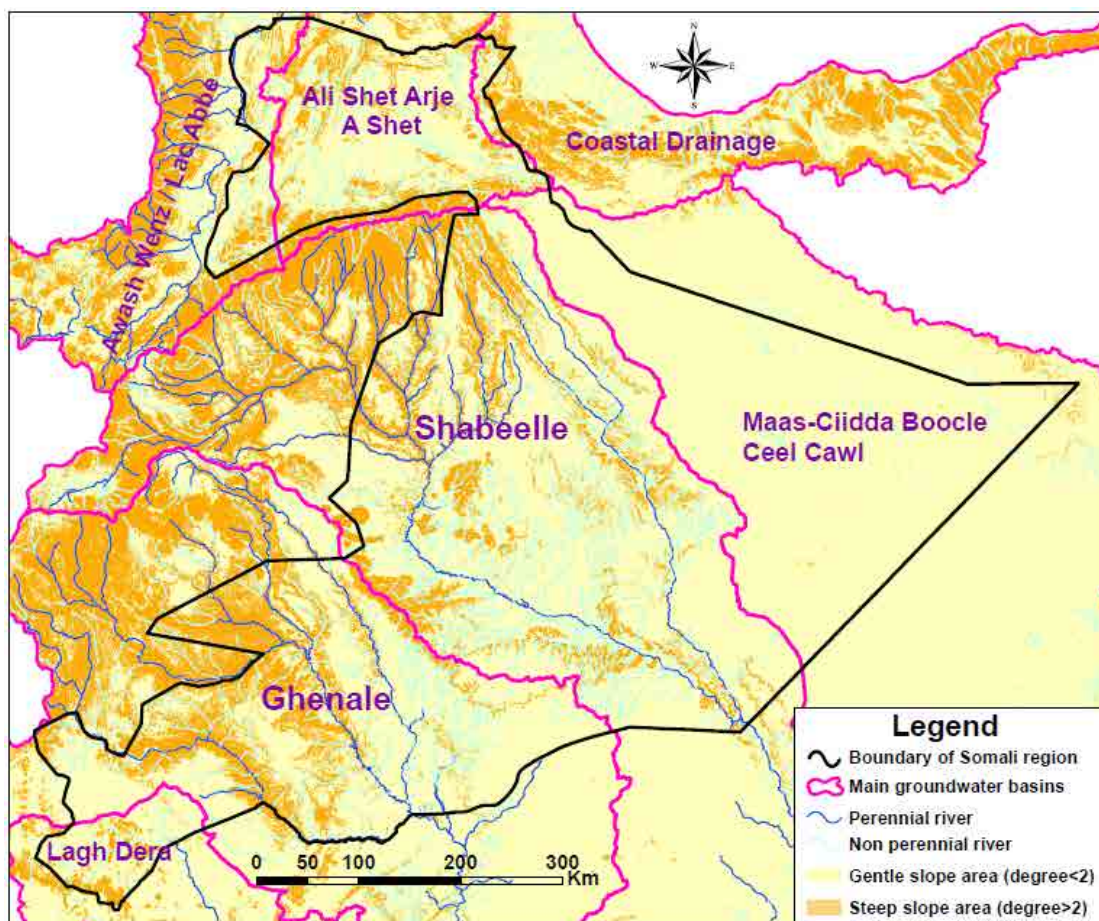


図 7.18: 河川周辺の平坦地区分図

山地域には平坦地があり、平野地域には急傾斜の丘陵地もあるため、上図で示した平坦地は山間部と平野部のどちらに区分すべきかの判断は難しい。一方、この解析は山地域にある平坦地の地下水が山地と河川の両方から涵養を受けることに着目して実施したものであり、地域としての涵養量は、降水量のみによるものとの基本原理に従う。従って、降水量データは上図で区分された平坦地内に山地と河川の両方から涵養が得られるかを検討するための参考値として考える。

調査地域内の降水量は、前述した年平均降水量分布図のとおり、0~2,625mmの変動幅である。通常は年降水量が500mmより小さい地域は乾燥地域、つまり、地下水涵養量の少ない地域として考えられることから、500mmを年平均降水量区分の基準値として設定した。これに基づき、降水量分布図と同様「World_Clim」のグリッドデータを利用して、降水量区分図を図7.19のとおり作成した。

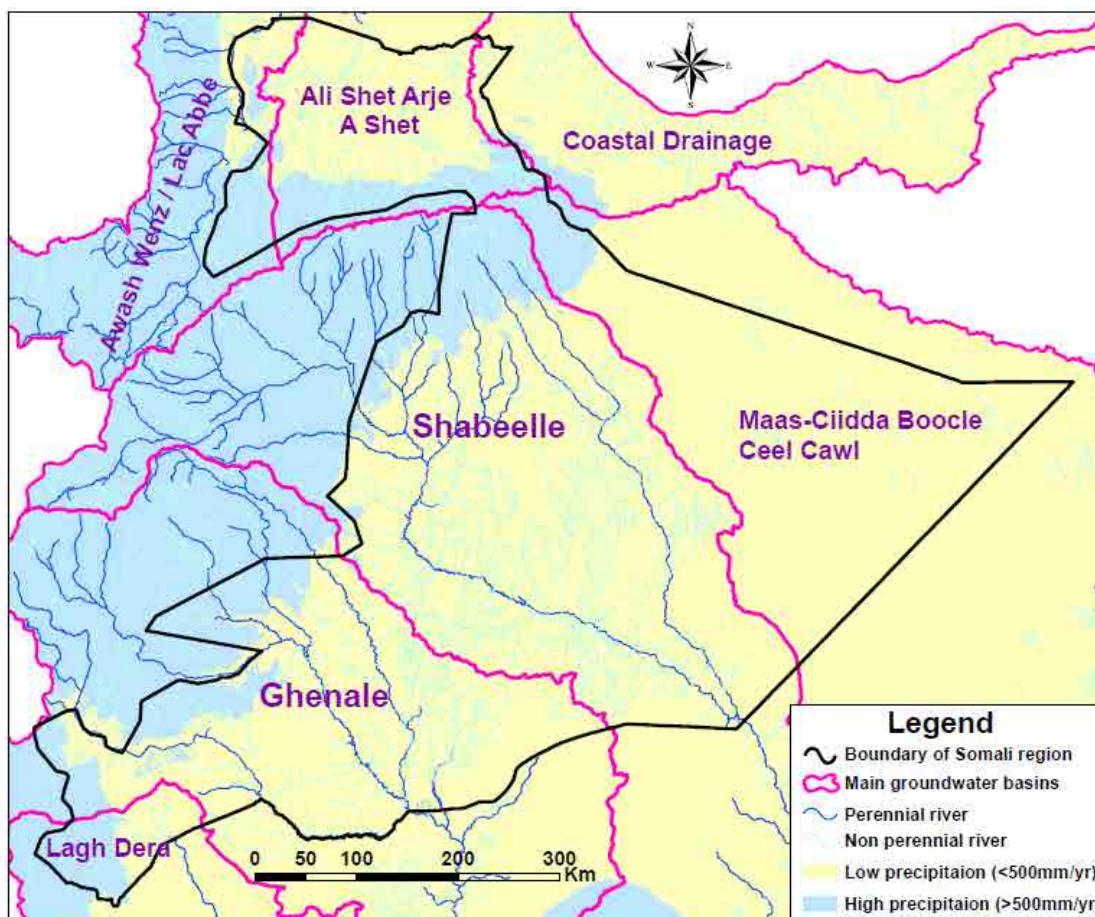


図 7.19: 500mm ベースの年平均降水量区分図

500mm ベースの年平均降水量区分図と前述の解析手法に基づき、河川周辺の水資源ポテンシャルを区分した。その結果は、図 7.20 に示すとおりである。図によると、降水量の多い山間地にあるランク 1 とランク 3 の面積は比較的広い。これは、河川周辺に相対的に広い平坦地域が存在しているからである。一方、降水量の少ない平野部と一部の丘陵地域は図中のランク 2 とランク 3 に区分され、それらの部分には河川図との差は見られない。これは図面の縮尺のためである。この部分では、地下水面が比較的浅いところで現われる。つまり、比較的高い水資源ポテンシャルはほとんど河川水の涵養だけによるものである。一方、河川から涵養されても、その量は限定的である。その理由として、涵養域からあまり長く流れない間に河川が消失してしまうことが想定される。このことを踏まえ、図に示すランク 2 とランク 3 の平野地域の区分は河川から 100m の距離を境界として抽出した。

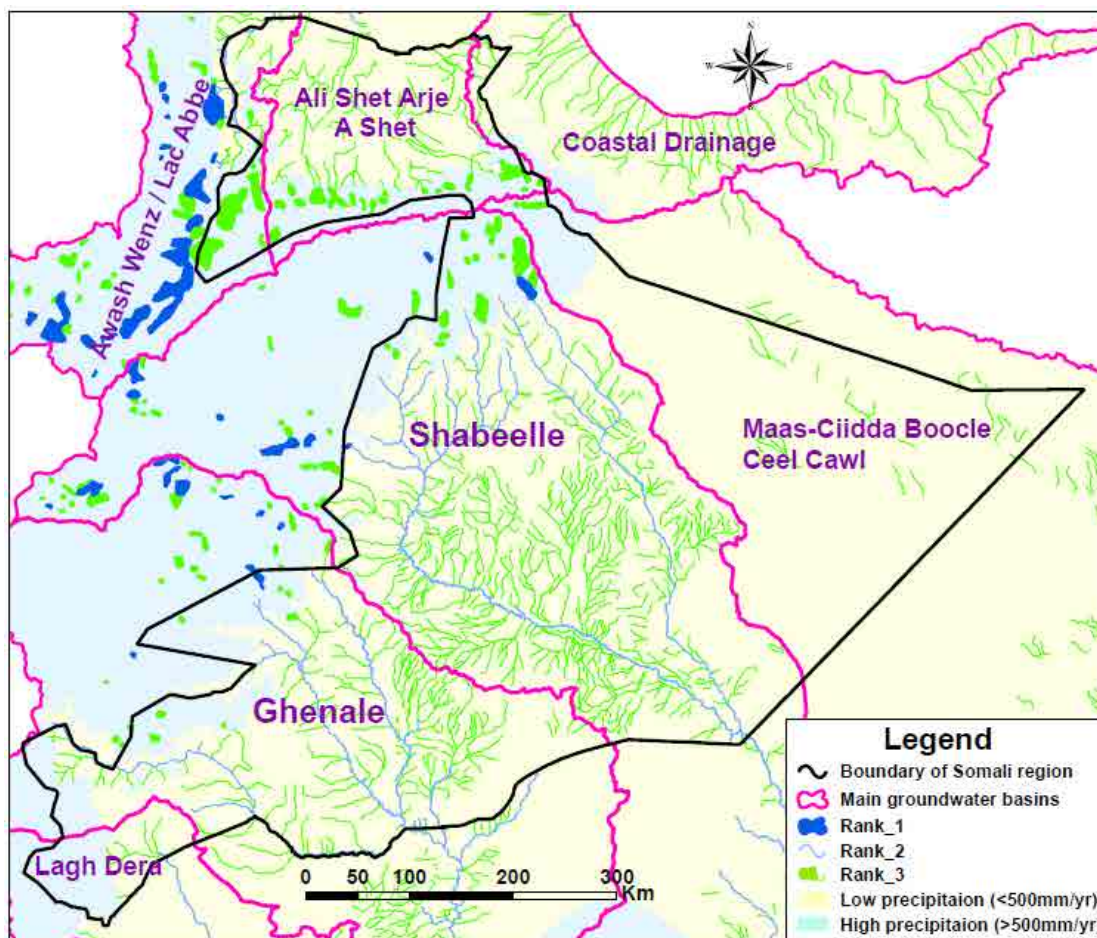


図 7.20: 河川周辺地域のランク区分

c. 第3点目の解析

調査地域にある通年河川の多くは、地形勾配が13度より大きい急傾斜の地形条件によって形成されたことは既述のとおりである。山間地域と平野地域の地形勾配の差を調べるために、山間部と平野部の境界を拡大し、図 7.21を作成した。拡大したグリッド内のスロープ値の比較により、ピンク色に示した丘陵及び山と平野部の境界部分の傾斜が概ね3～9度の間にあることが分かった。この結果に従い、調査地域内の傾斜区分を3ランクに分けて区分し、第3点目の解析のベースとした。その結果は、図 7.22に示すとおりである。

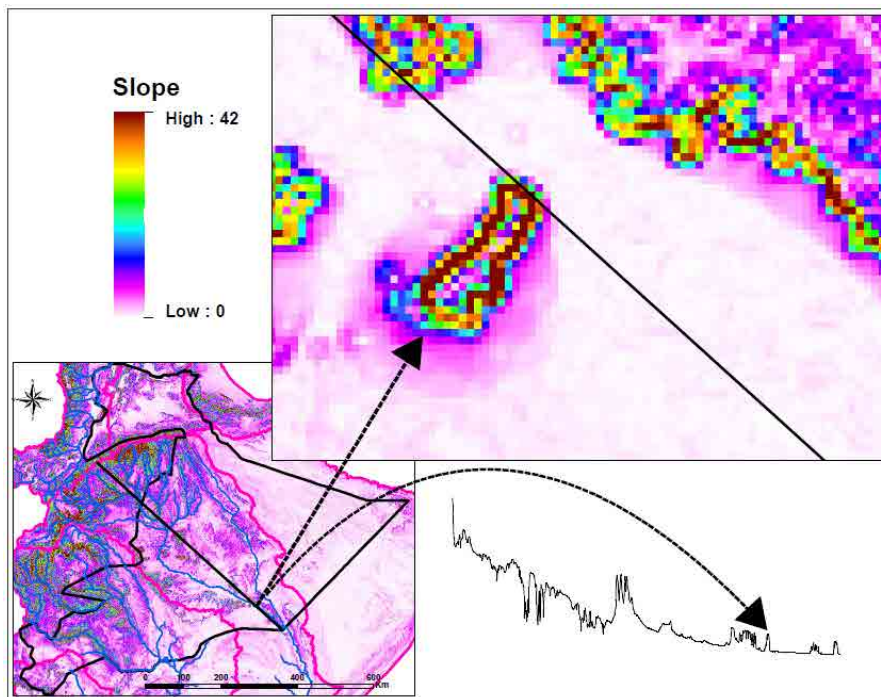


図 7.21: 山と平野の区分ベース

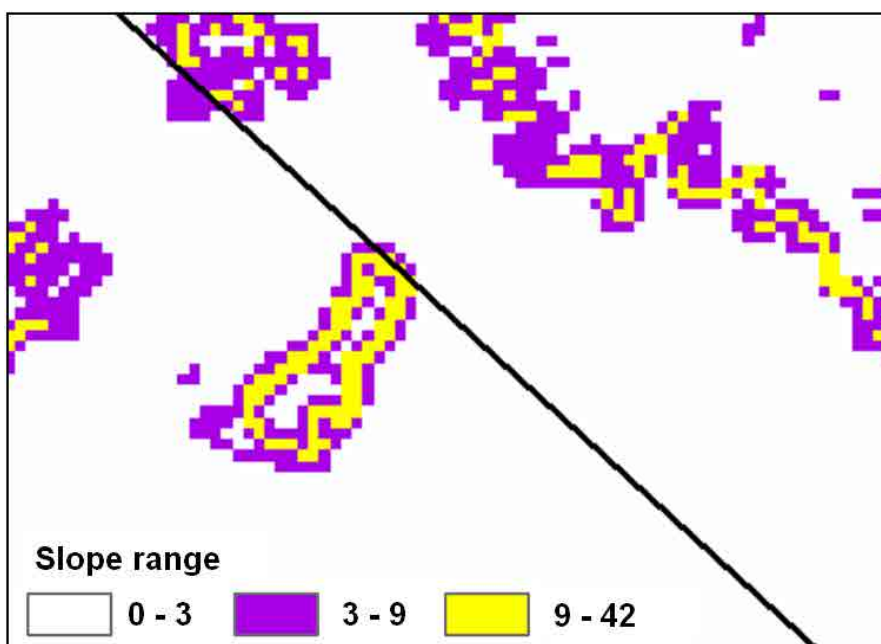


図 7.22: 山と平野の区分

以上の区分ベースに従い、解析を実施する手法としては、調査地域内傾斜 9 度以上の部分を抽出し、その周辺 1km 範囲内傾斜 3 度以下の平坦地があるかどうかを確認して、抽出する。その結果で得られた調査地域内の地形変化（Hill Shade）にバックグラウンドを付加するものとする。これらの地下水位がある程度浅いと想定される地域は、図 7.23 に示すとおりである。

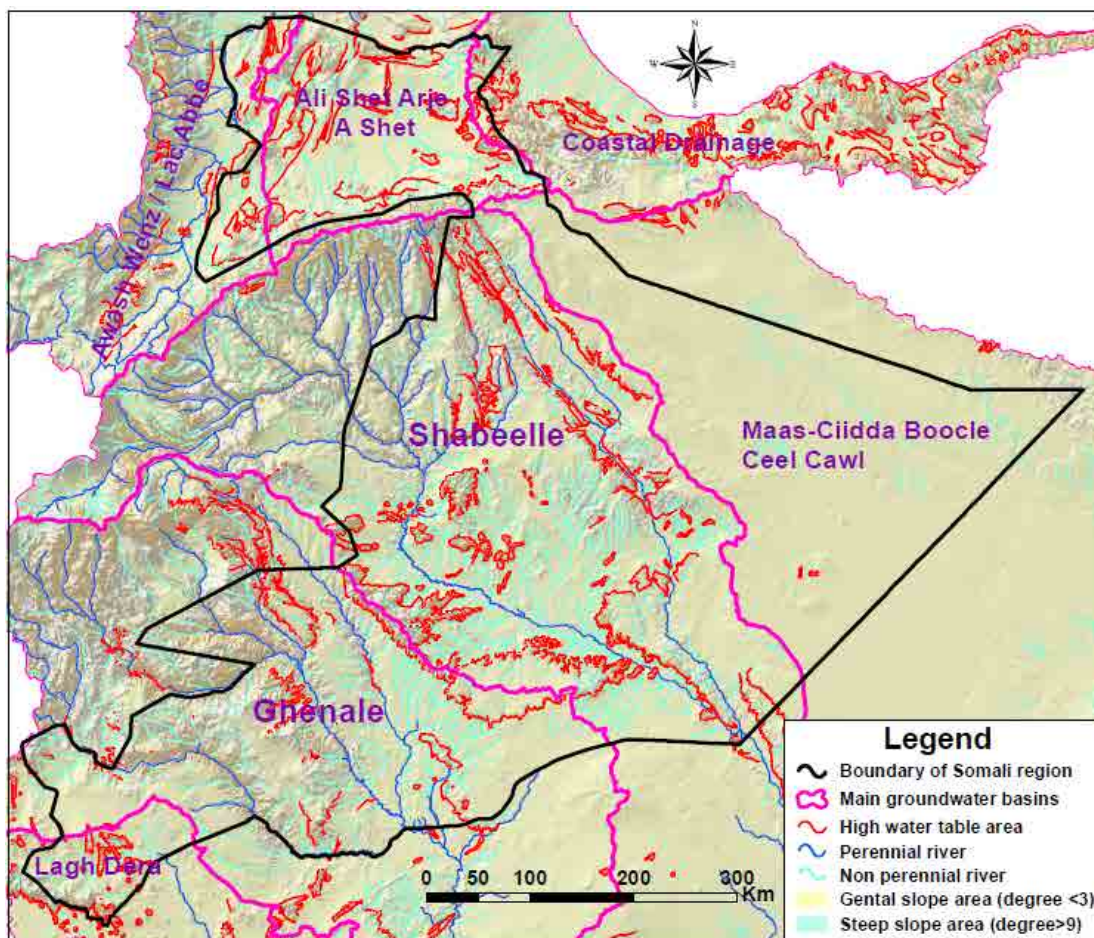


図 7.23: 地下水位が比較的浅いと予想された地域

急傾斜地域から平坦地が変わる部分では地下水位が高くなる可能性はあるが、状況はどこでも同じではない。傾斜の変化のみでなく、上部地域の面積の影響もある。従って、同様に地下水位が高いと区分された地域でも、上部地域の面積を基にランクに分ける必要があり、これを WRIM での区分の基礎とした。

7.4 図面と利用方法(解説)

地下水形成の基本原理に従い、WRIM の作成に関連する基本要因の解析をそれぞれ実施した。それらの要因に基づき WRIM(水資源情報)を区分するには、調査地域上のランダム地点で各要因にある異なる解析値を合わせて得られた総合的な数値をみる必要がある。

7.4.1 調査地域のグリッド区分

各要因の解析結果の精度は調査地域内の各部分で異なるので、統合にあたっての解像度の問題がある。対象全地域の総面積は $919,000\text{km}^2$ 、そのうちソマリ州内では $361,491\text{km}^2$ である。WRIM はソマリ州内を対象に作成することを考慮し、グリッドのメッシュサイズを 1km^2 として WRIM の基本図を作成した。そのグリッド基本図に基づき各グリッドの中心点にある各要因の値を抽出し、それら要因の値を重ね合わせた結果を WRIM 区分の

ベースとした。そのグリッド基本図から抽出した最大、最小値を WRIM の最高と最低区分ランクとして設定し、その間の値を線形配分して WRIM のランク別の評価を実施した。

7.4.2 各因子の最大値の重み付け

各要因である涵養量、地形、地質、リニアメントは、WRIM 上のポテンシャルに対して影響の程度が異なる。そのため、統合前に各要因別に異なる重みづけをする必要がある。但し、重みをつけた明確な基準はないため、下記のとおり地下水盆形成に対する相対的な影響の程度に基づいて重みづけを行った。

地下水盆内の涵養量は降水量によるものではあるが、降水量ののみにより決定されるわけではない。降水量が多い山間地域は地下水涵養域ではあるが、地下水面は深いため、むしろ水資源ポテンシャルを低く区分していることが多い。一方、平野地域では降水による涵養量はわずかだが、山間地域からの地下水の滞留及び流動により涵養されるので、水資源ポテンシャルの高いところが多く存在する。最も大きく影響している涵養量には、最大の重みとして 4 割を設定した。地形要因は、涵養量に次ぐ重み付けとし、3 割とした。残る 2 要因の地層(透水係数)とリニアメントは、地層の影響は地形に次いで比較的に大きいと考えられるため、2 割の重みとし、残る 1 割の重みはリニアメントとした。

7.4.3 各因子の最小値の重み付け

各因子の重みは上記のように設定したが、各要因内にある数値の区分方法を考える必要がある。調査地域にある主要地域の Ghenale の可能蒸発散量に対して降水量の割合が最も高く 26.4%である。一方、最も小さい値の Coastal Drainage の割合は 6.3%である。前者の値を 4 割に設定しても、後者の値はどれだけの値を設定するか明確な基準はない。そのため幾つかの異なる設定パターンで実施した。つまり最大 4 割に設定した Ghenale の涵養量に対して、最小値の Coastal Drainage で涵養量は 3 割、2 割と 1 割の 3 種類に設定し、他の地域の涵養量は線形内挿により、最大、最小割合の間に設定することにした。

地形区分も同様に、調査地域の地形標高は海拔 2,460m～171m の間にある。標高の最も小さい値を有する地域は周辺から地下水が流れてくる可能性が高いので 3 割に設定するが、最大標高の地域はどれだけの重みを設定するか明確な基準はない。従って、最大 3 割に設定した地形標高に対して、最大標高値である 2,460m の割合はそれぞれ 2 割、1.5 割と 1 割に設定し、他地域の地形標高は直線内挿により、最大値と最小値の間に設定した。

WRIM における地質（透水係数）の重みは 2 割であり、涵養量と地形の割合設定と比較して小さいので、最小値の設定は 2 種類に分け、1 割と 0.5 割とした(表 7.11 参照)。

リニアメントの重み設定は、最も小さく 1 割なので、細分せず、リニアメントがなければ 0 とし、あれば直線解析により最大値 8,146m（セル内の数量）と 0m の間に設定することにした。

表 7.11: WRIM を解析するための要因設定(%)

Recharge (涵養量)	Topography (地形)	HC* (透水係数)	Expression
40/30	30/20	20/10	1(図 7.24)
		20/5	2(図 7.25)
	30/15	20/10	3(図 7.26)
		20/5	4(図 7.27)
	30/10	20/10	5(図 7.28)
		20/5	6(図 7.29)
40/20	30/20	20/10	7(図 7.30)
		20/5	8(図 7.31)
	30/15	20/10	9(図 7.32)
		20/5	10(図 7.33)
	30/10	20/10	11(図 7.34)
		20/5	12(図 7.35)
40/10	30/20	20/10	13(図 7.36)
		20/5	14(図 7.37)
	30/15	20/10	15(図 7.38)
		20/5	16(図 7.39)
	30/10	20/10	17(図 7.40)
		20/5	18(図 7.41)

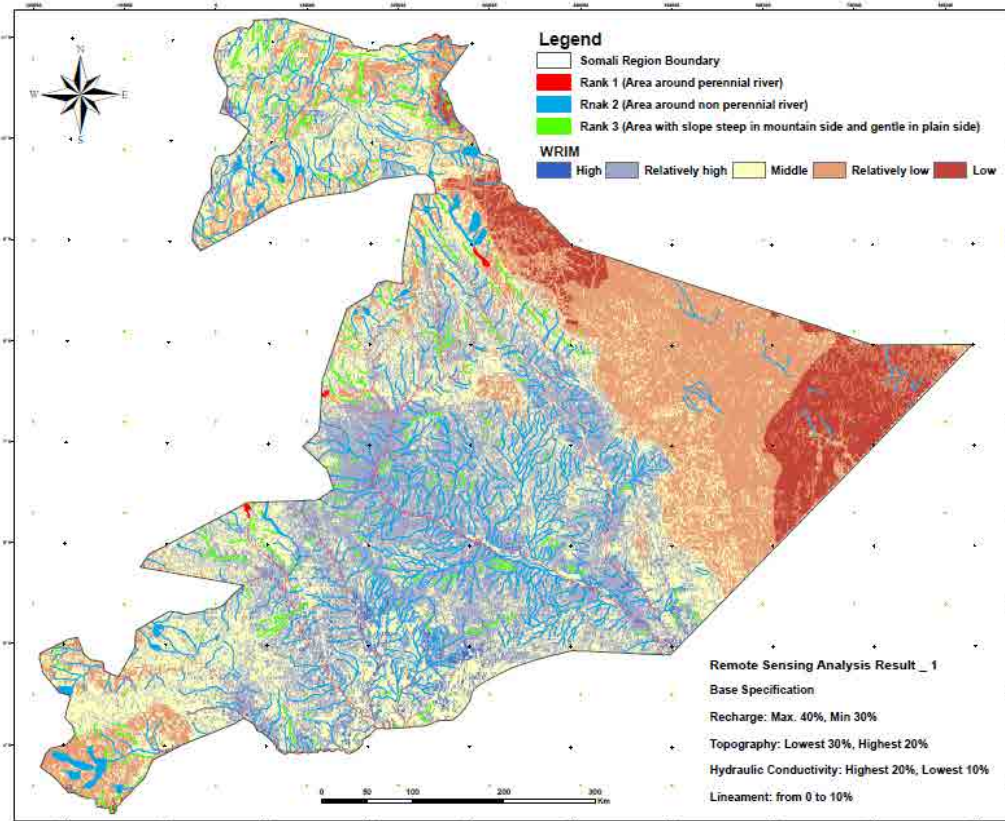
HC: Hydraulic Conductivity(透水係数)

Expression: Number of the figures below(図面番号)

7.4.4 WRIMランクの分け方

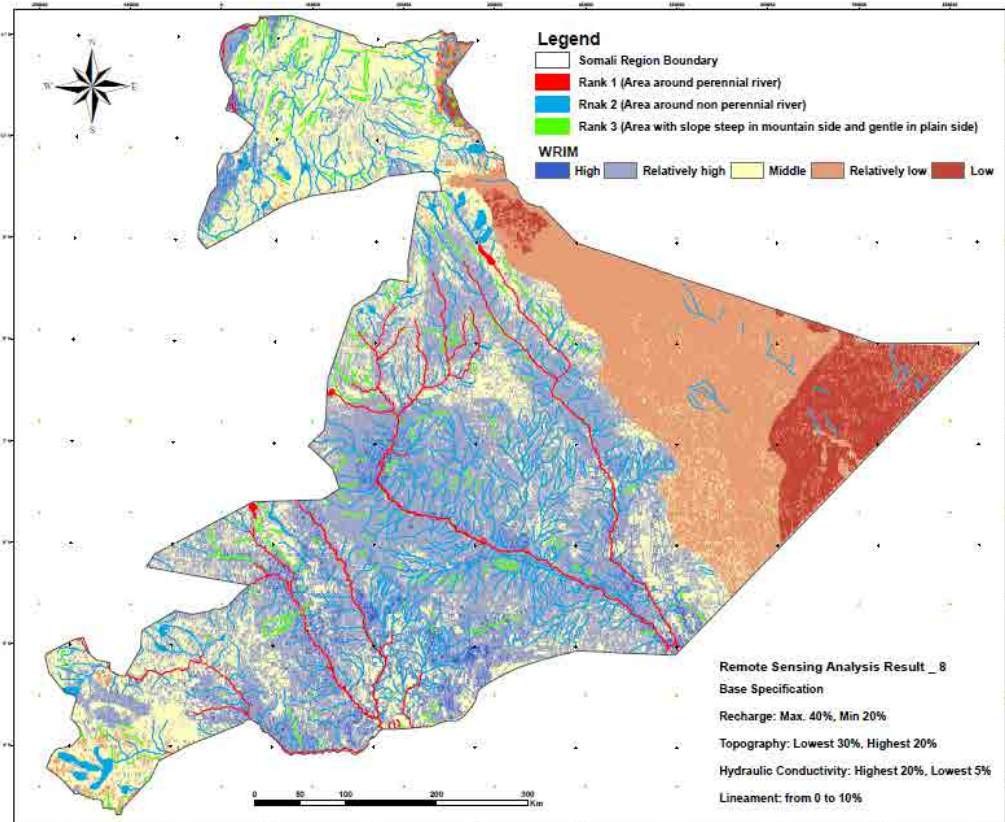
上述した WRIM 作成手順に従って 18 枚の WRIM を作成し、図 7.24～図 7.41 に示した。18 枚の WRIM のうち、最大値の変動は小さく 99.6%～99.8%の間にある。一方、最小値の変動は、表 7.11 に示した設定により 34%～69.5%まで倍ほどの差がある。数値が大きければランクが高いが、数値の変動幅があるため、各ランクの設定基準を考慮している。

最大値と最小値の間を均等に 5 ランクに分ける方法は一つの選択肢である。自然環境図や降水量分布図等の図面によると、本調査地域はエチオピアの他地域と異なり、地下水利用可能量が少ないことがはっきりしている。つまり、利用可能量の高い地域より利用可能量の低い地域が多い。そのため、ランクの区分は均等ではなく、最高ランクから最低ランクまで 12、16、20、24、28 のように漸次大きくするように区分を設定することとした。



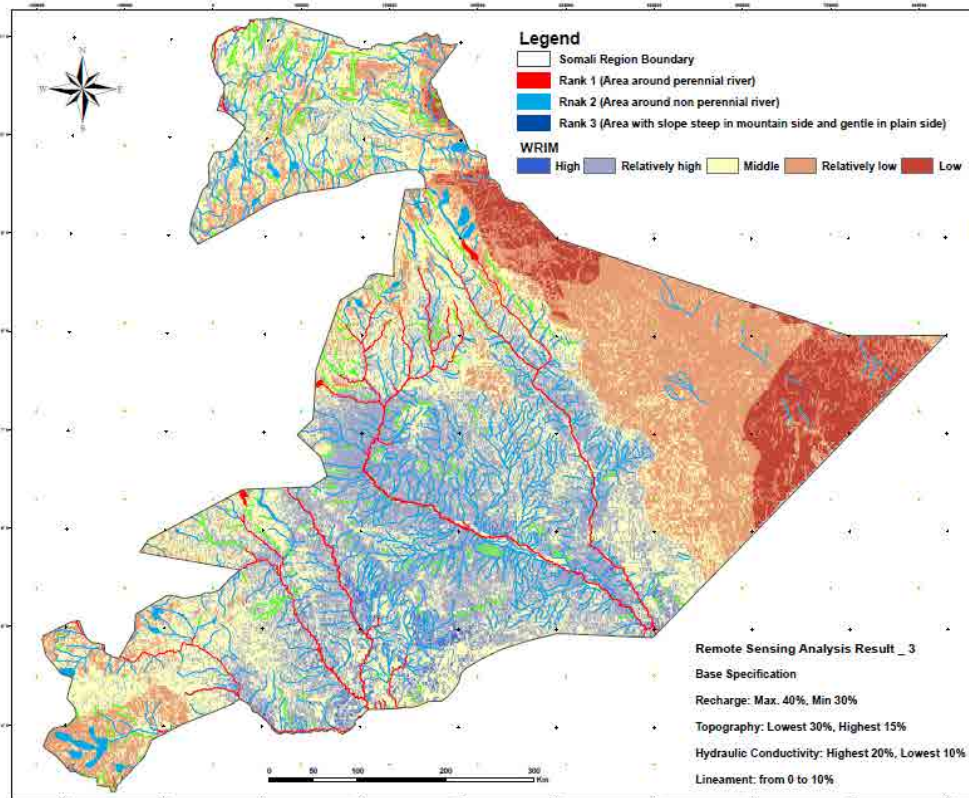
涵養量 4/3、地形 3/2、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.24: WRIM 結果 1



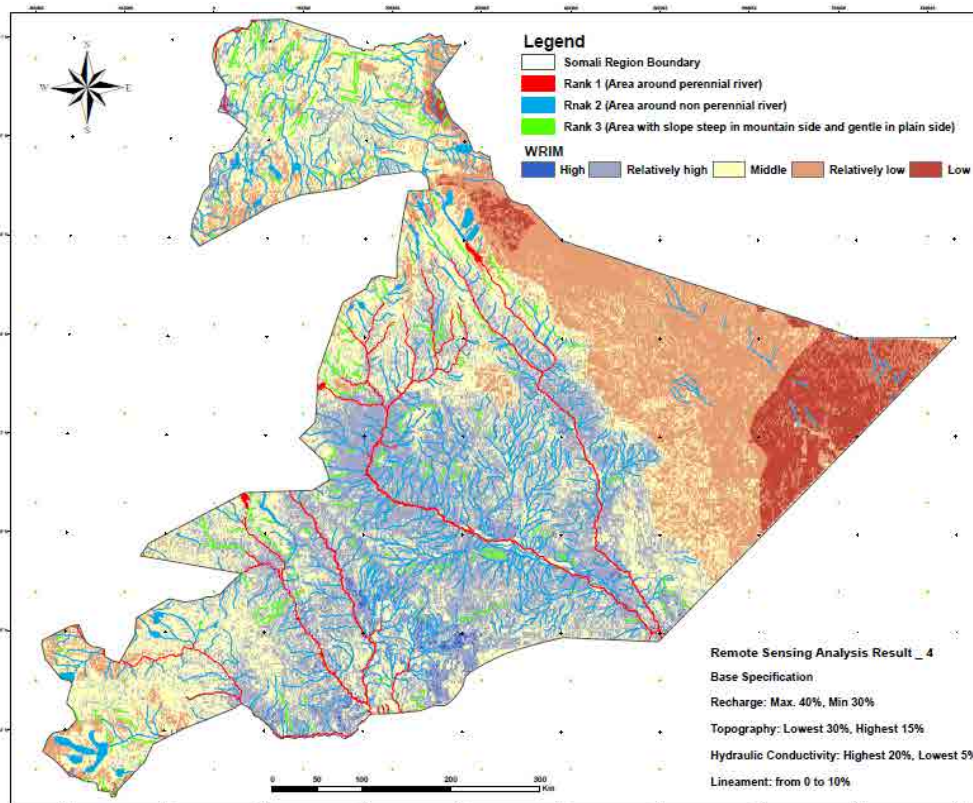
涵養量 4/3、地形 3/2、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.25: WRIM 結果 2



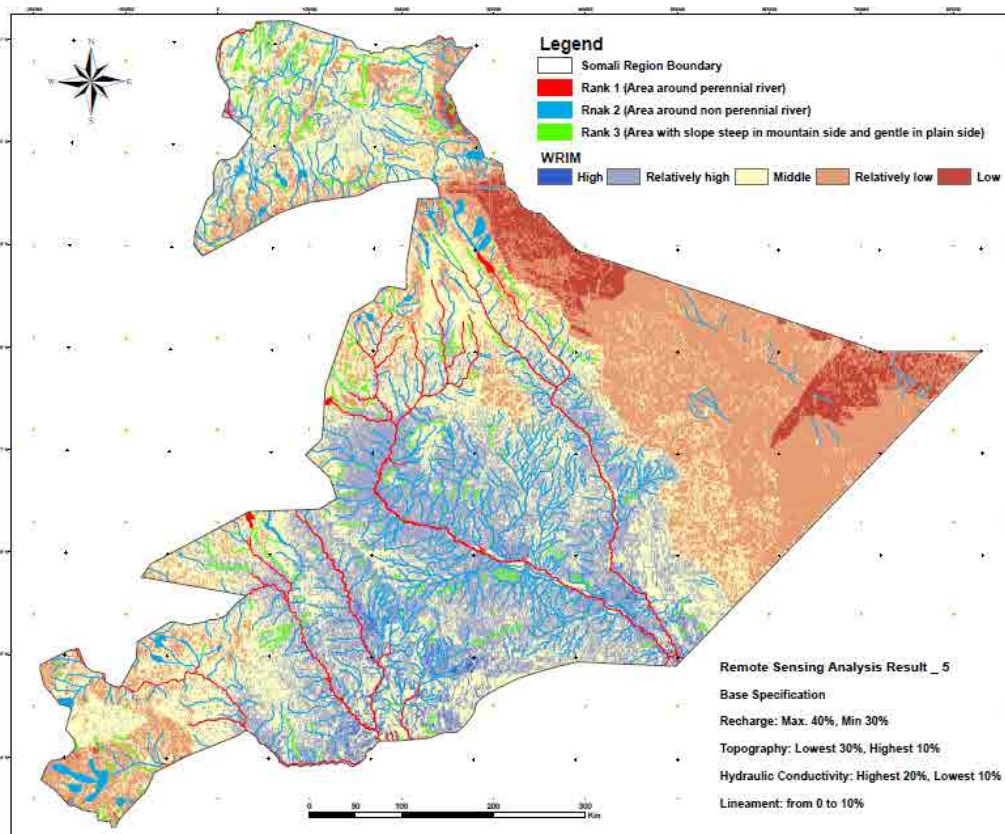
涵養量 4/3、地形 3/1.5、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.26: WRIM 結果 3



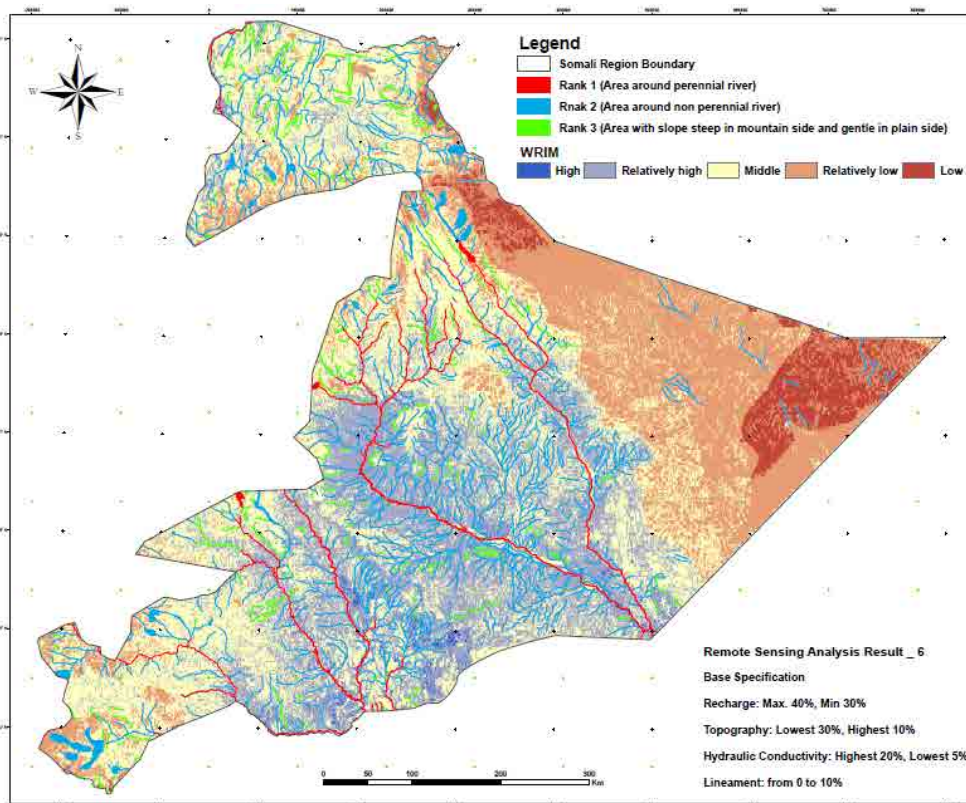
涵養量 4/3、地形 3/1.5、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.27: WRIM 結果 4



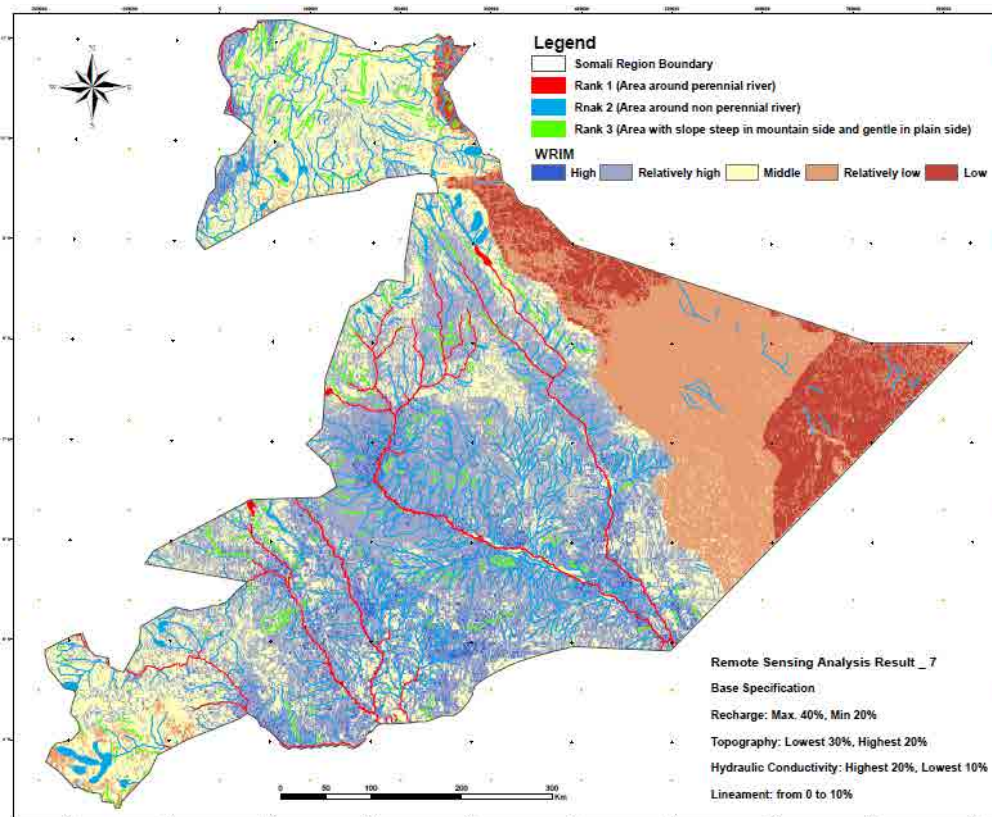
涵養量 4/3、地形 3/1、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.28: WRIM 結果 5



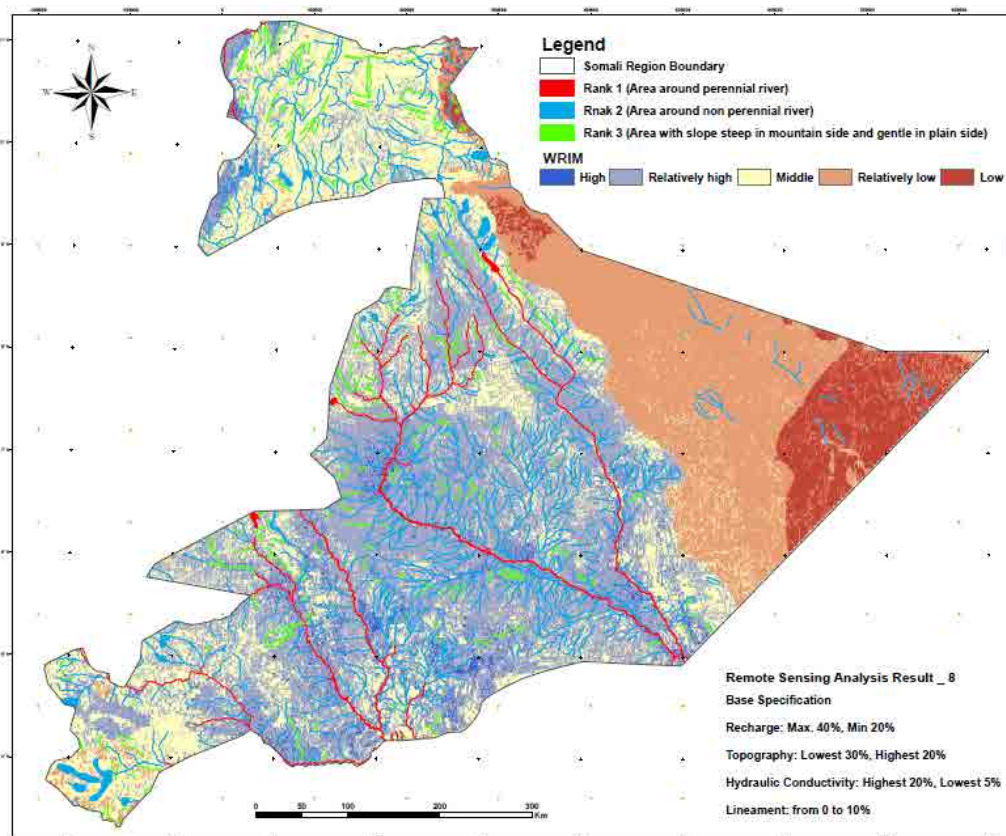
涵養量 4/3、地形 3/1、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.29: WRIM 結果 6



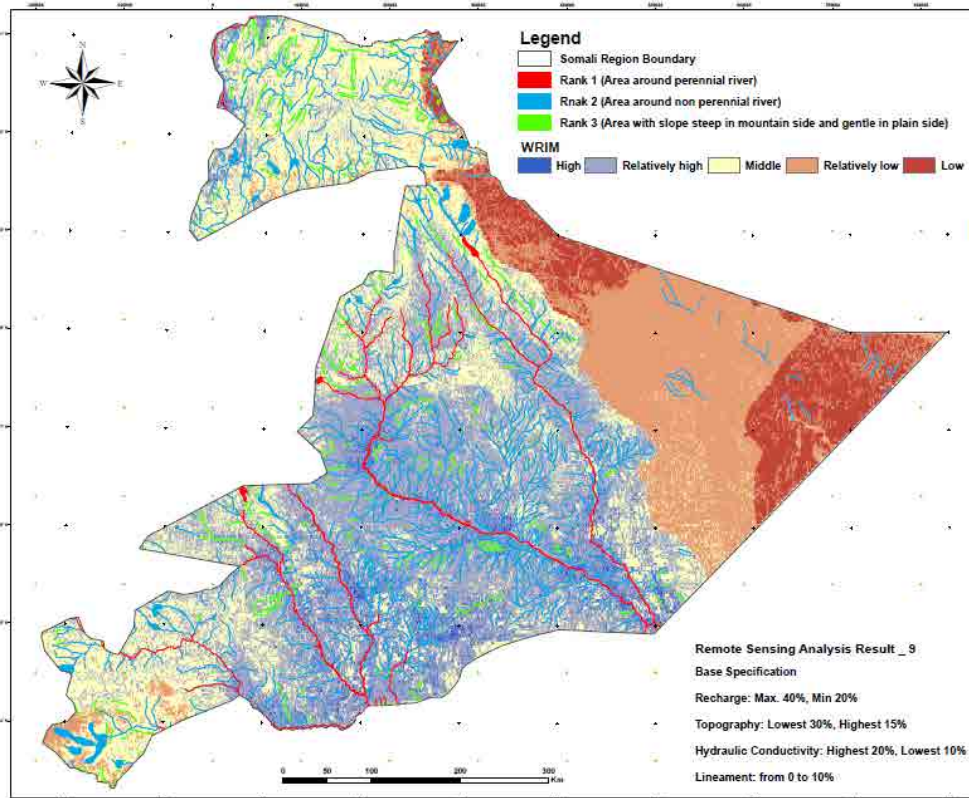
涵養量 4/2、地形 3/2、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.30: WRIM 結果 7



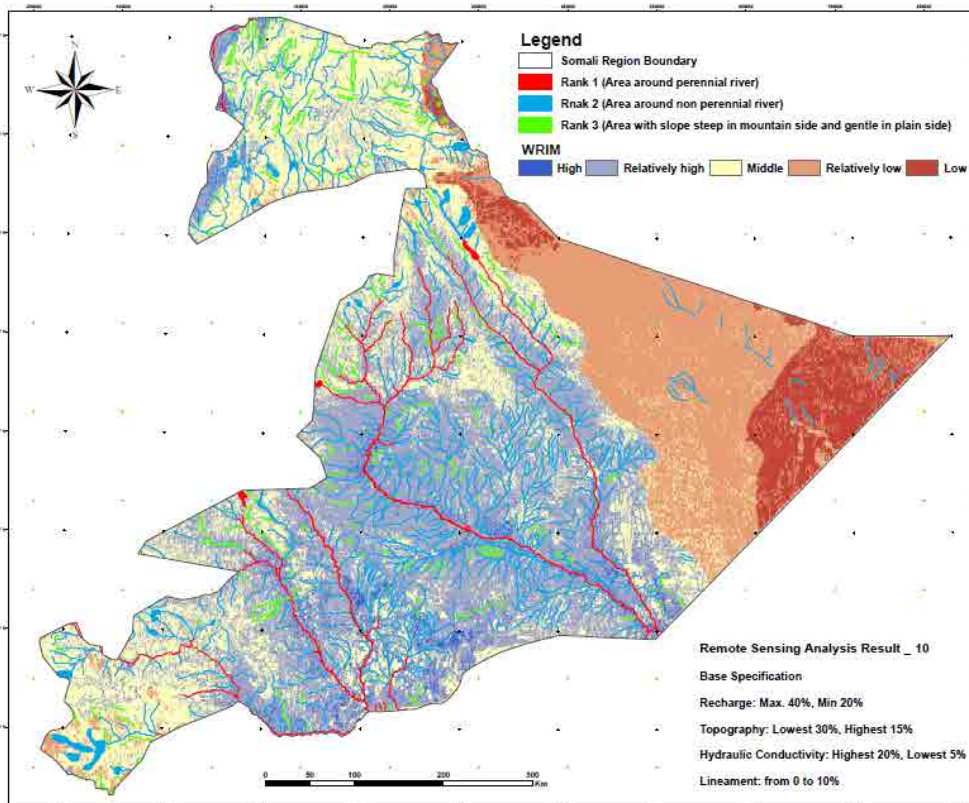
涵養量 4/2、地形 3/2、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.31: WRIM 結果 8



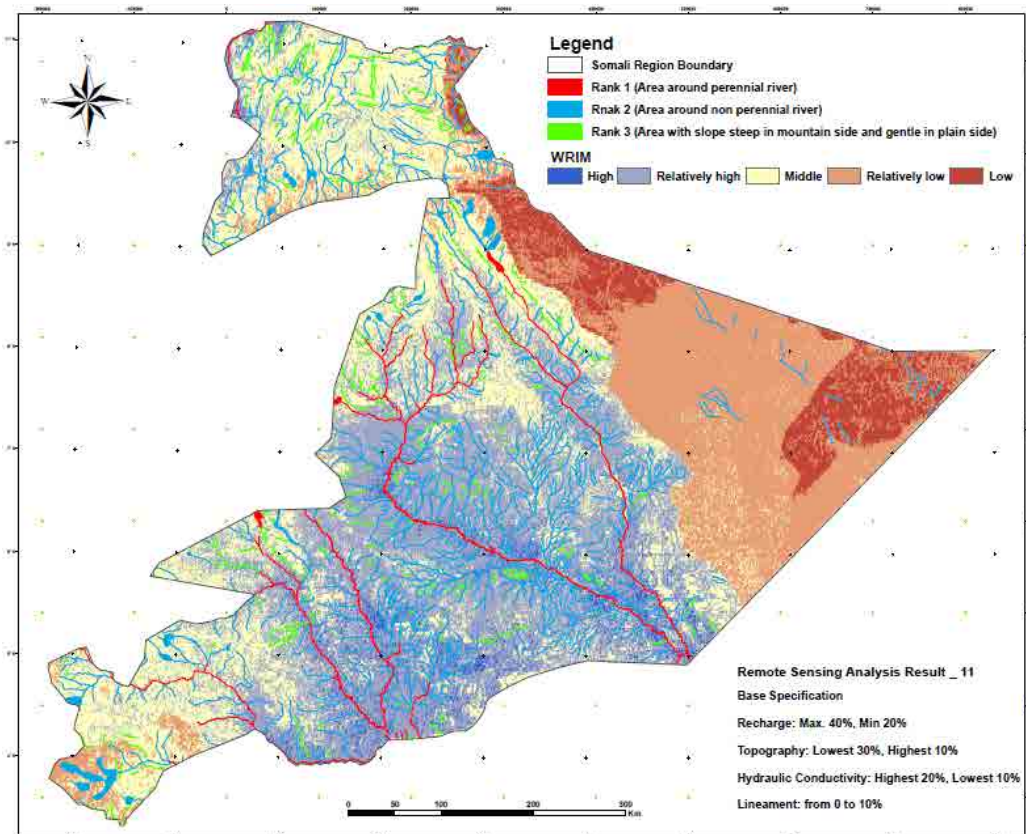
涵養量 4/2、地形 3/1.5、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.32: WRIM 結果 9



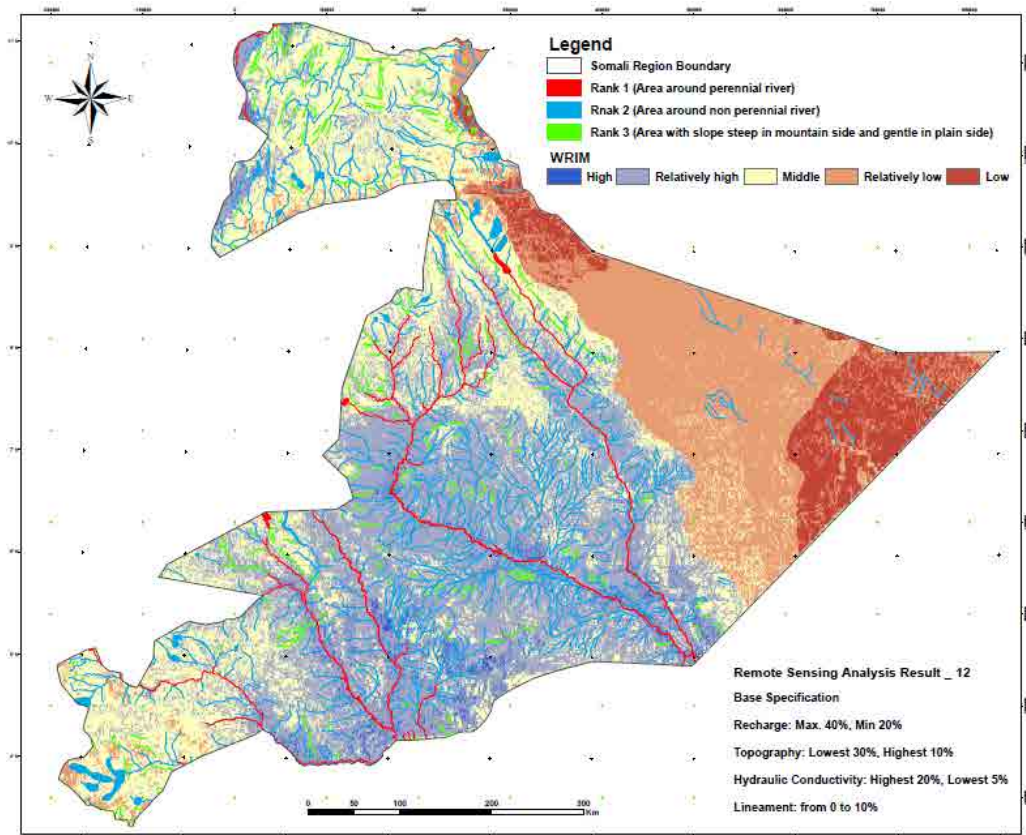
涵養量 4/2、地形 3/1.5、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.33: WRIM 結果 10



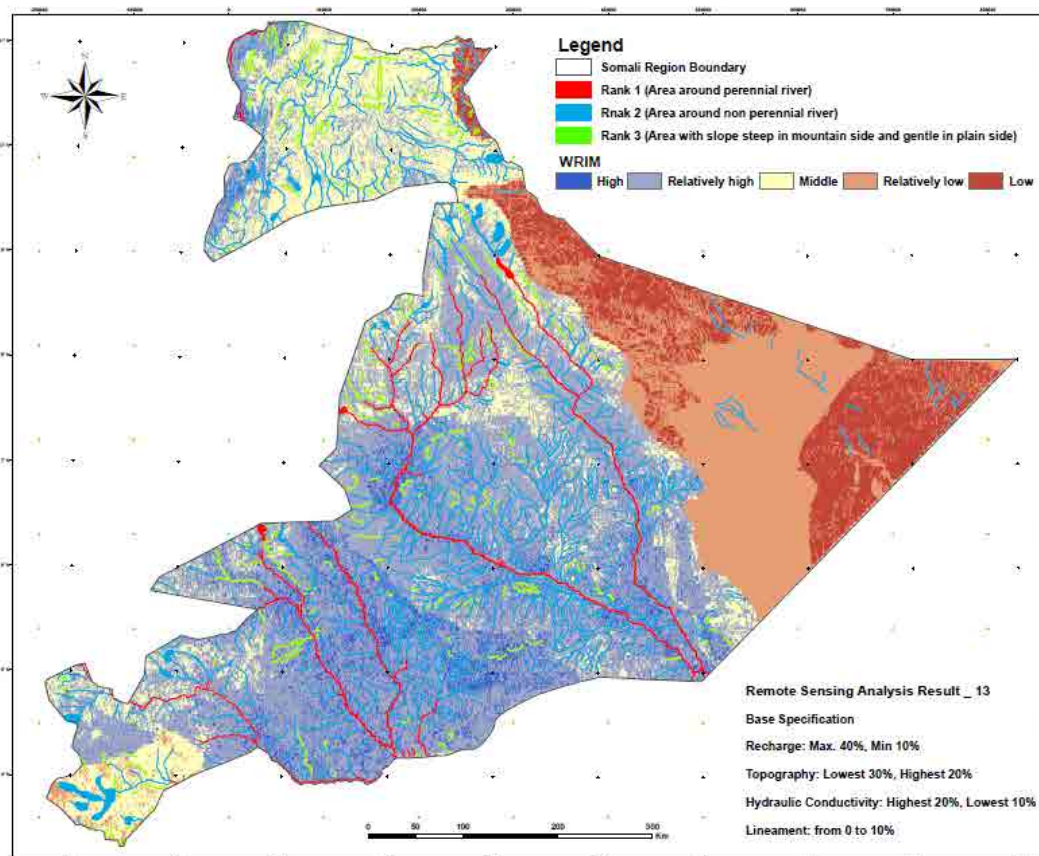
涵養量 4/2、地形 3/1、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.34: WRIM 結果 11



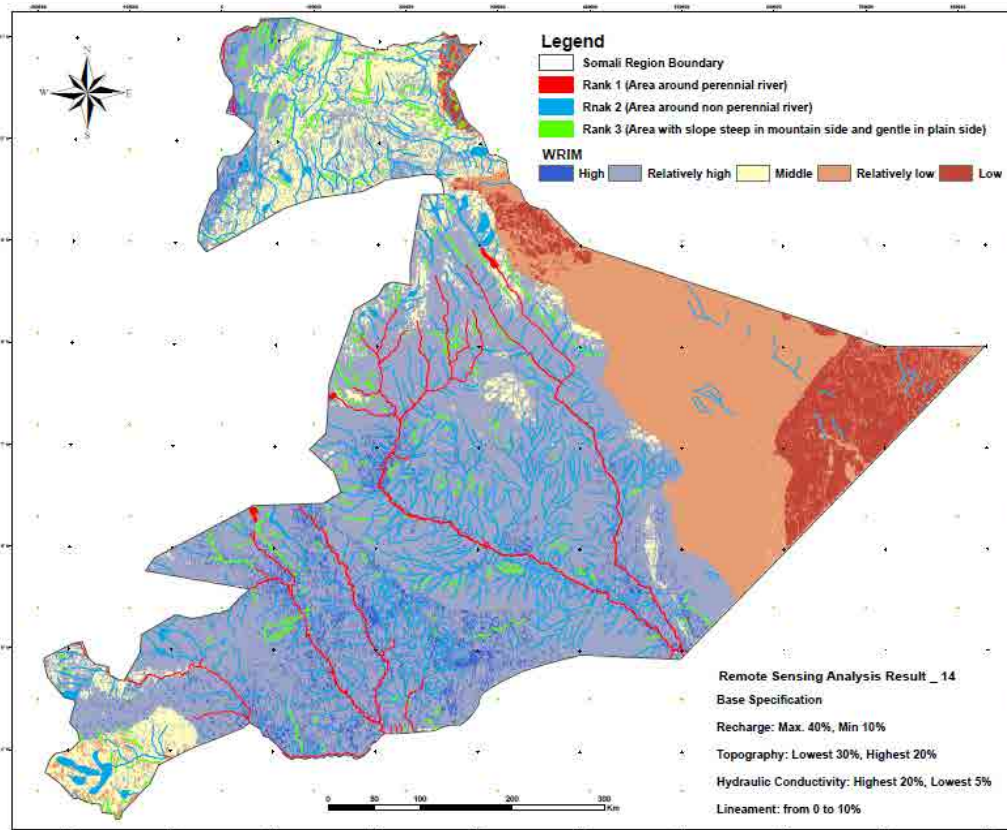
涵養量 4/2、地形 3/1、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.35: WRIM 結果 12



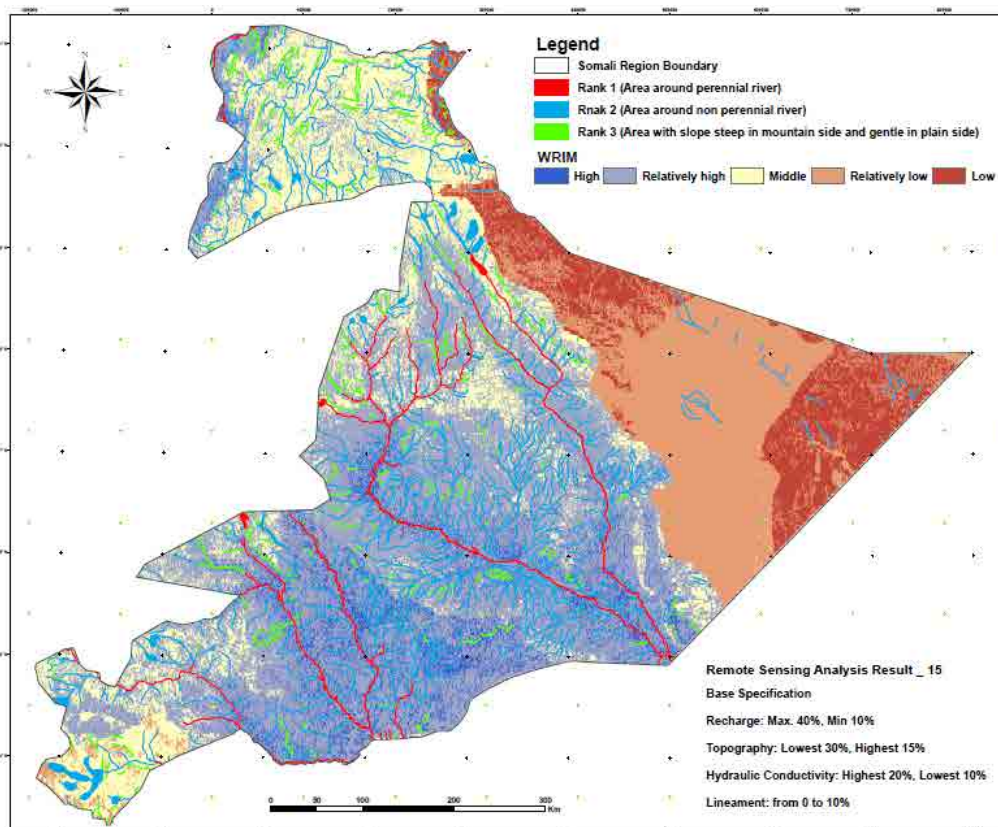
涵養量 4/1、地形 3/2、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.36: WRIM 結果 13



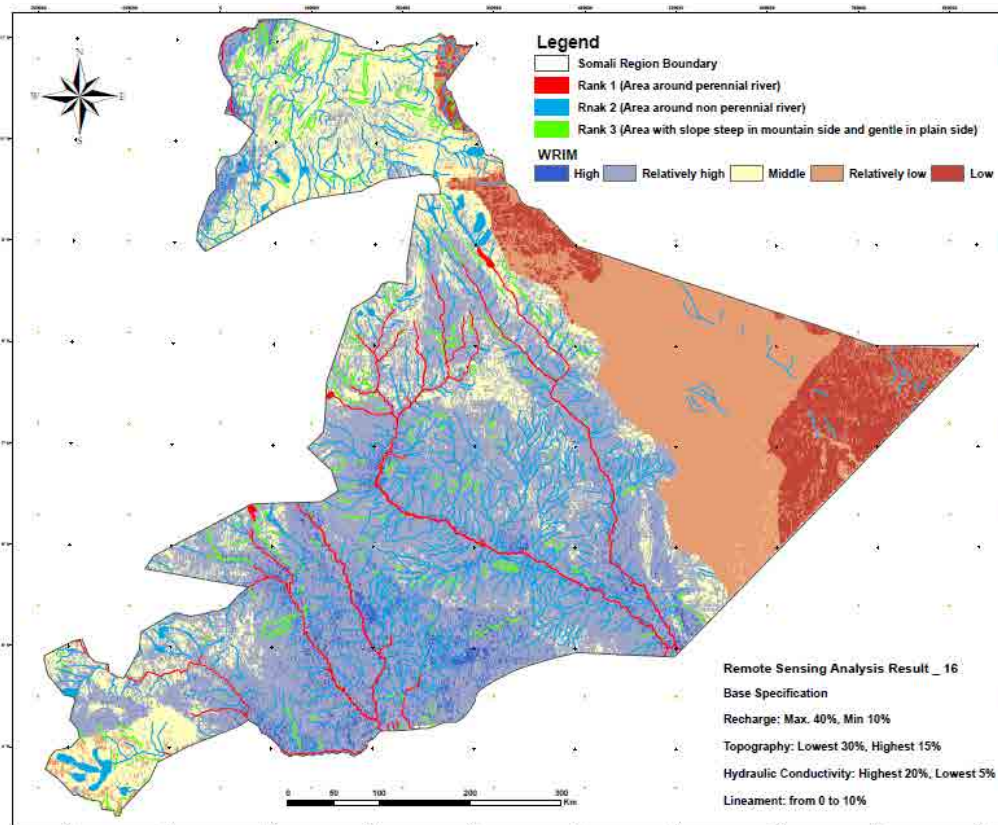
涵養量 4/1、地形 3/2、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.37: WRIM 結果 14



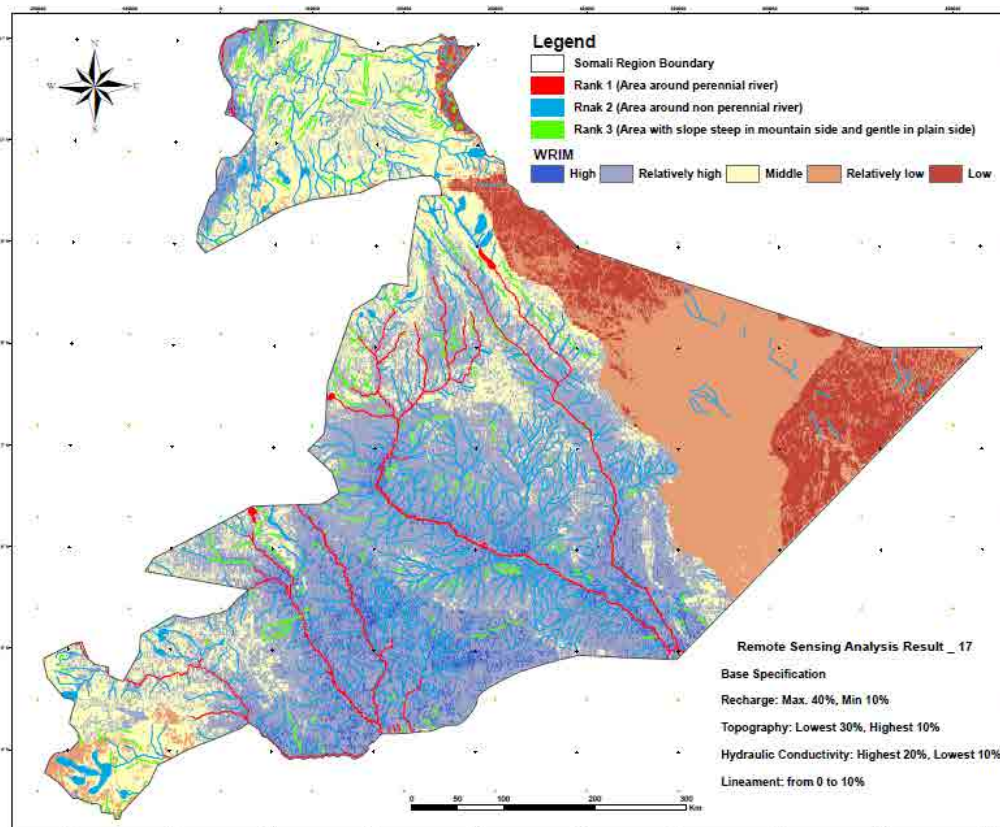
涵養量 4/1、地形 3/1.5、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.38: WRIM 結果 15



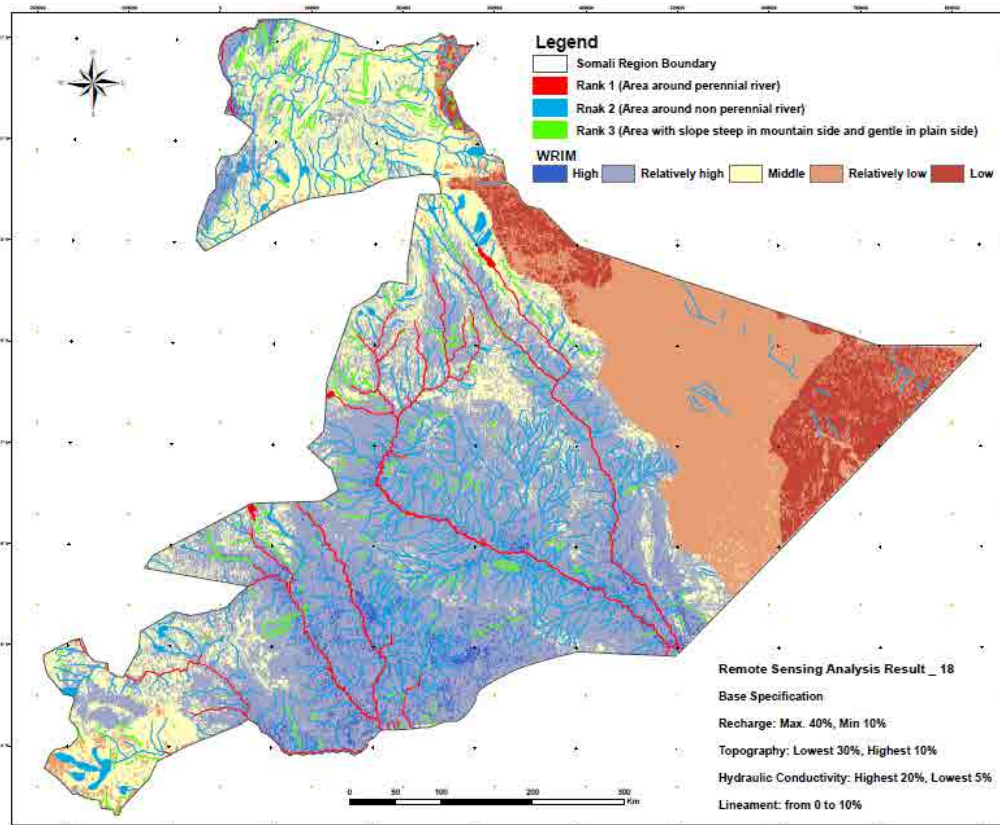
涵養量 4/1、地形 3/1.5、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.39: WRIM 結果 16



涵養量 4/1、地形 3/1、透水係数 2/1、リニアメント 0-10

図 7.40: WRIM 結果 17



涵養量 4/1、地形 3/1、透水係数 2/0.5、リニアメント 0-10

図 7.41: WRIM 結果 18

7.4.5 水質のランク区分

前述のとおり、リモートセンシングで地下水の水質情報は得られないため、水質のランク区分は UNESCO(2012)の水質情報を利用することにした。その区分結果は、図 7.42 に示す。

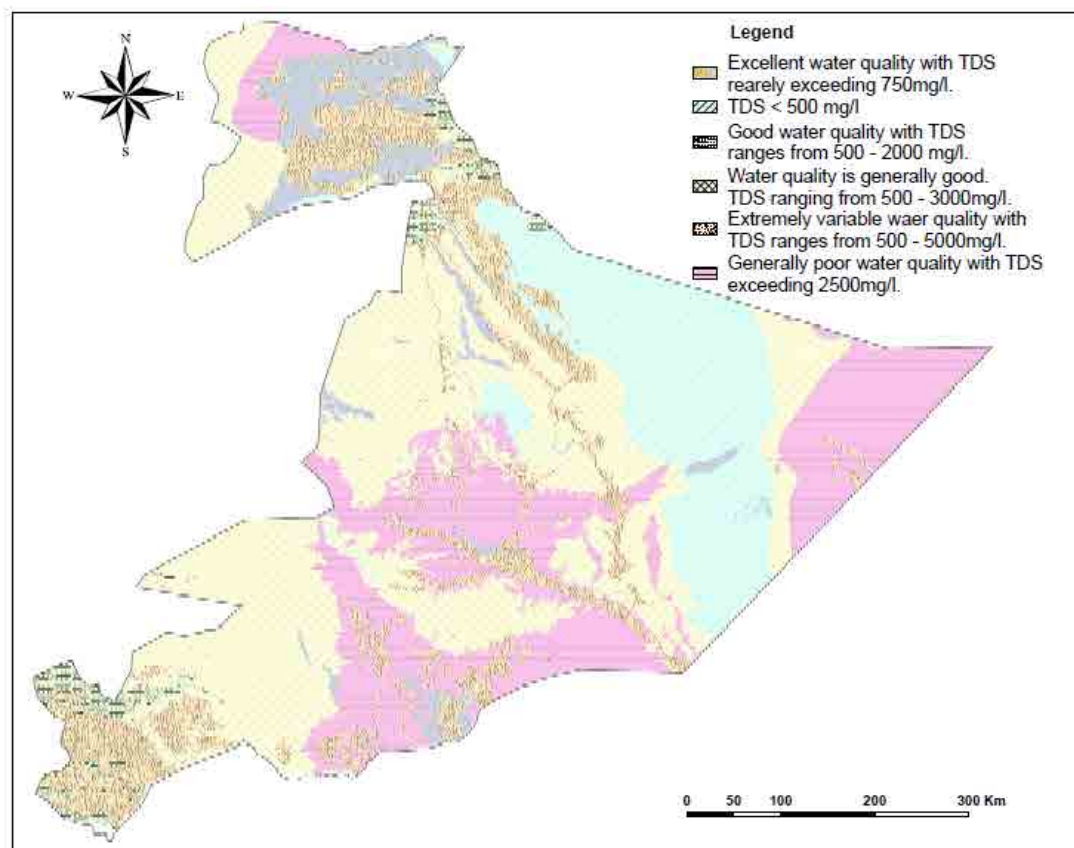


図 7.42: 水質分布図(UNHCR,2012)

リモートセンシングで解析すると各種要因の割合設定により異なる解析結果が得られる一方、今回の調査ではリモートセンシング解析の他、井戸情報に基づき主要地域の地下水ポテンシャル解析を行い、地下水利用可能性評価図を作成した。作成した 18 枚の WRIM 図面と評価図を比較して、一番整合性の高い WRIM を選定した。その結果、図 7.36 の 13 番の WRIM が採用された。この WRIM13 番の重み設定は次のとおりである。

- 涵養量：最大 4 割、最小 1 割、地形：最大 3 割、最小 2 割、透水係数：最大 2 割、最小 1 割、リニアメント：最大 1 割、最小 0

13 番の WRIM は上述したとおり最終結果として決定し、図 7.42 に示した水質図と対比を行うため、以下の図 7.43 に水質区分図と水資源情報をそれぞれ対比した図を示した。また WRIM は 200 万分の 1 縮尺で評価と水質を重ね合わせた図面を作成し、データブックに添付する。

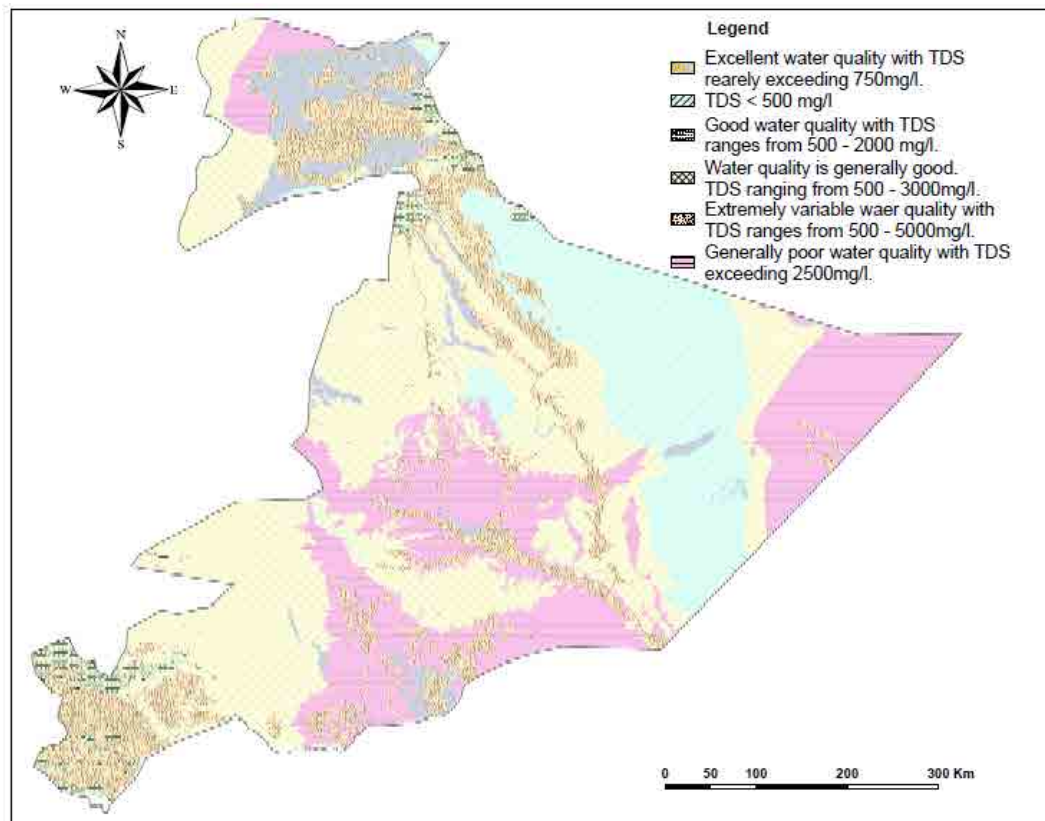
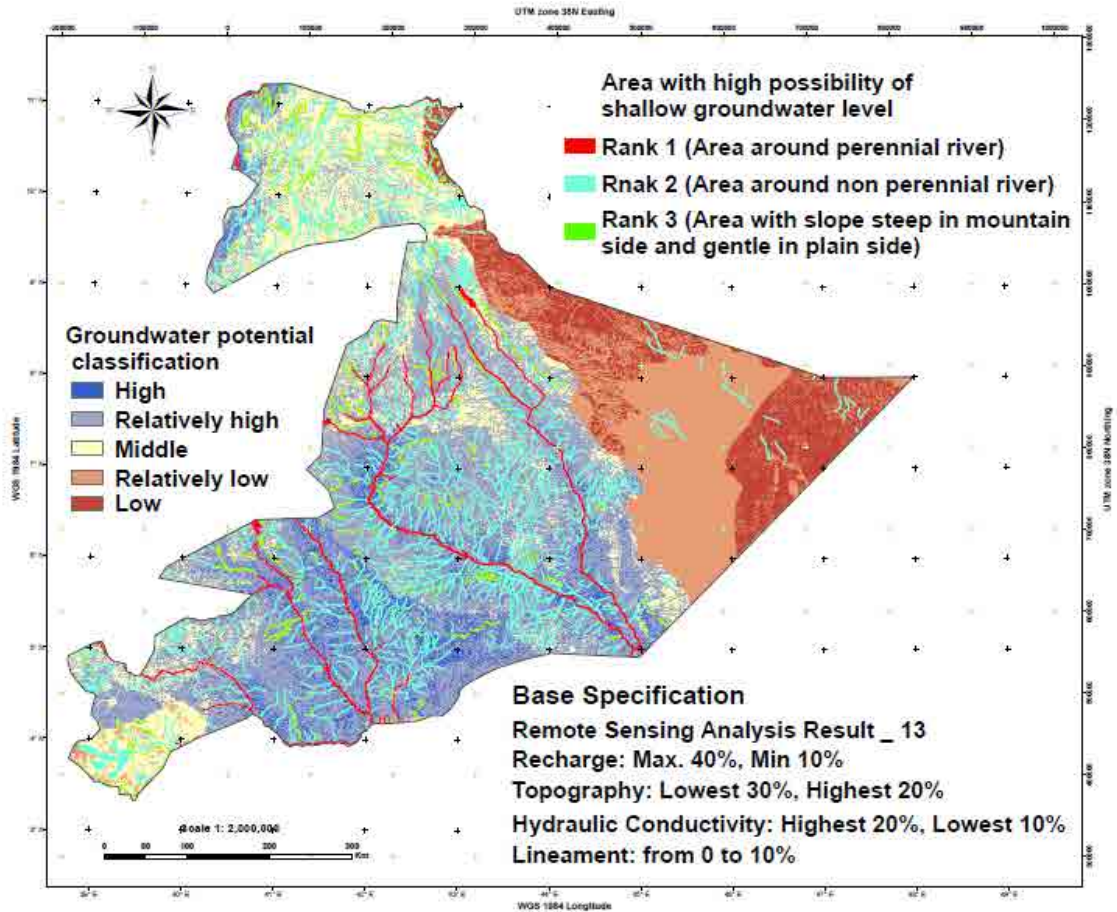


図 7.43: 水質区分図と水資源情報との対比

7.4.6 WRIM(水資源情報図)の凡例と利用方法

全 18 枚の WRIM に同一の凡例を表示したが、その凡例は次のとおり 2 つのカテゴリー（凡例 1 と凡例 2）に分けられている。

凡例 1

ランク 1 (Area around perennial river) : 図 7.20に示した通年河川周辺の平坦地域

ランク 2 (Area around non perennial river) : 図 7.20に示した一次河川周辺の平坦地域

ランク 3 (Area with slope steep in mountain side and gentle in plain side) : 図 7.23に示す地下水水位が比較的浅いと予想された地域

凡例 2

High potential : 解析結果最上位から最下位まで12%を抽出した地域

Relatively High potential : 解析結果上位2番目(12+)16%を抽出した地域

Middle potential : 解析結果の中間部分(12+16+)20%を抽出した地域

Relatively low potential : 解析結果の下位2番目(12+16+20+)24%を抽出した地域

Low potential : 解析結果の最下位から最上位まで28%を抽出した地域

凡例1は主に河川及び地形勾配に関わり、地下水水位が比較的浅い地域として考えられる。凡例2は、表 7.11に設定した各要因の割合を合わせて解析した地下水ポテンシャルを示した。

WRIM は、最初にソマリ州全域の水資源ポテンシャルに関して前述の 4 つの要素を元に相対的なランク区分を行っている。また、水質区分を重ね合わせて水利用の可能性について検討を加えた。そのためこの図面の利用方法としては以下の点が考えられる。

- 地下水利用可能性評価図とはポテンシャル評価の方法が異なるが、ジャラル溪谷とシェベレ川のサブベースン以外の地域の水資源ポテンシャルに関する相対的な評価を概観できる。さらに水質の情報を利用して水利用方法の検討に役立てることが可能である。
- ポテンシャル情報は 1km メッシュの精度で表現しているが、縮尺は 1/200 万であるため地域の大まかなポテンシャルの可能性と水質の情報を得る目的で利用できる。
- 浅層地下水の情報も主に地形要素から相対的なポテンシャルランク区分を行っており、水質情報と加味して深井戸の掘削が難しく、恒常河川から遠い地域での地下水ポテンシャルを得るための第一次的な参考データとして利用できる。

8. 結論

8 結論

ここでは地下水利用可能性調査の結果に基づく結論を示す。

8.1 結果の概要

気象・水文調査の結果は、降水量は年平均で観測期間の違いもあるが、220mm～570mmとエチオピアのほかの地域に比べて少なく、逆に蒸発量が多い。河川ではシェベレ川は恒常河川であり、流域面積と年間流出高との良い相関が得られている。水収支解析からはいくつかの計算方法によって年間 9.3mm～47.95mm という地下水涵養量の値を得ている。

ソマリ州の地質は、プレカンブリア時代から第四紀までの地層が分布しており、プレカンブリアの地層は結晶質岩が主体であり、花崗岩等を含んでいる。これらの基盤岩類を中生代の堆積物や第三紀から第四紀の火山岩類や沖積層が被覆する。とくに第四紀層は河川沿いや低地部に主に分布する。

水理地質は、既存の井戸情報や JICA で掘削した井戸諸元から、良好な帯水層としては第四系、第三紀から第四紀の玄武岩、第三系や白亜系の一部、ジュラ紀の堆積層およびジュラ紀から三畳紀（？）の砂岩層である。

水質分析の結果から、総論としては水質組成からみた水資源のタイプとしては温泉水、鉱泉水及び化石塩水、または循環性の地下水や河川水にあたる。分析試料のうち基準値をオーバーする項目は濁度、TDS、塩素イオン及び全硬度が多い。

8.2 結論

調査の結果から湧出能力や地下水位及び水質の評価を組み合わせる帯水層評価分類を実施した地下水利用可能性評価図をジャラル溪谷及びシェベレ川流域のサブバズンを結合した地域において作成した。図面の縮尺は 1/250,000 である。定量的に判定できるデータが非常に少ないため相対的な表示の図面となった。上述の地域での図面から伺える判定は以下のようなものである。

- ジャラル溪谷では溪谷沿いや Kabribeyah 郡から Kabridahar 郡にかけての左岸沿いの台地部では中～高の湧出能力で良好な水質の帯水層が分布する。一方右岸側では湧出能力の低い、水質も一部よくない帯水層の分布や湧出能力も水質も中程度の箇所も細長く分布する。Kabridahar 郡から南側では左岸側に一部低湧出能力で水質は良好な帯水層が分布する反面、一部低湧出能力で水質も劣悪な地域も散在する。
- シェベレ川の広い流域では、石膏層が広く分布することもあり、湧出能力は中程度であるが水質は劣悪で飲用には適さない。シェベレ川沿いは地下水の評価は低いが、表流水のポテンシャルは利用できるため、中程度の能力に判定している。

一方水資源情報図は、上記の評価図の結果を参照しながらソマリ州全域での水資源のポテンシャルや水質について検討した結果をとりまとめた。これらから次のような点が類推できる。

- 浅層地下水のポテンシャルに関しては、地形、とくに平坦な低地部に注目し、恒常河川の存在や急傾斜地から平坦部に变化する箇所の抽出をおこない、浅層地下水の抽出箇所の選定を実施した。その結果、ジャラル溪谷沿いや山地・丘陵部に小規模に浅層地下水のポテンシャルが比較的高い地域が点在する。
- ソマリ州全域の水資源のポテンシャル評価としては、オガデン地域を除いてシェベレ川の南西側では水資源の量的な部分においては高い、あるいは比較的高い地域が広がるが、水質では劣悪な状況である。ジャラル溪谷沿いでは水資源の量的な状況は中～比較的高い地域が多く、水質は一般的によい傾向あるいは水質の変化が大きい地域が分布する。
- 水資源情報図と地下水利用可能性評価図とはジャラル溪谷やシェベレ川沿いでは類似した情報が提示されているので、両地域以外の評価では、水資源情報図も利用できる可能性は十分にあると思われる。