

エチオピア連邦民主共和国

水エネルギー省

ソマリ州水資源局

エチオピア連邦民主共和国
ジャラル溪谷及びシェベレ川流域
水資源開発計画策定・緊急給水プロジェクト

最終報告書 (2/7)

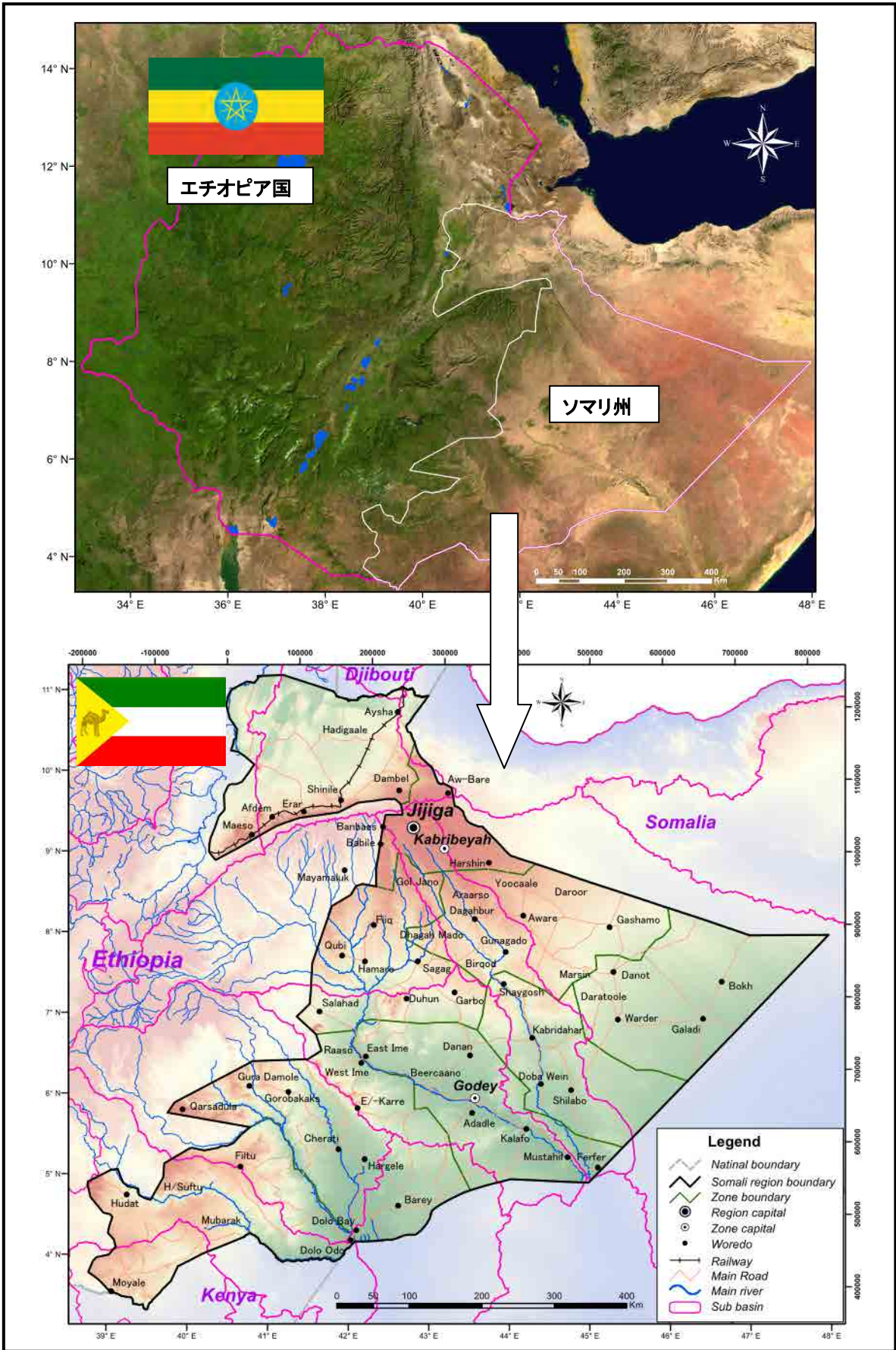
第1巻 水資源(地下水)利用可能性調査

平成25年8月

(2013年)

独立行政法人
国際協力機構(JICA)

国際航業株式会社



調査地域図

目 次

調査地域図
目次
表目次
図目次
略語一覧

	頁:
1 調査概要	1-1
1.1 プロジェクトの概要	1-1
1.2 レポート構成	1-4
1.3 第1巻の概要	1-6
2 気象・水文	2-1
2.1 気象データの収集とレビュー	2-1
2.1.1 ソマリ州での気象観測所	2-2
2.1.2 降水量データ	2-5
2.1.3 蒸発量	2-8
2.1.4 気温及びその他のデータ	2-9
2.2 水文データの収集とレビュー	2-13
2.2.1 ソマリ州での水文観測所	2-13
2.2.2 河川流量	2-14
2.3 データ解析	2-17
2.3.1 河川流量解析	2-17
2.3.2 水収支解析	2-17
2.3.3 地下水涵養量の比較	2-23
3 地質	3-1
3.1 ソマリ州の地質概要	3-1
3.1.1 地勢と自然地理	3-1
3.1.2 エチオピア国の地質概要	3-5
3.2 地域地質	3-6
3.2.1 既存の研究とマッピング	3-6
3.2.2 対象地域の地質概要	3-8
3.2.3 衛星画像解析	3-9
3.2.4 地質層序	3-14
3.2.5 地質図の地質単元区分	3-15
3.2.6 層相	3-20
3.3 地形・地質解析	3-33

3.3.1	ジャラル溪谷	3-33
3.3.2	シェベレ川支流域	3-46
3.4	参考文献	3-57
4	水理地質	4-1
4.1	水理地質データの収集	4-1
4.1.1	既存研究とマッピング	4-1
4.1.2	既存井戸のデータ	4-1
4.1.3	湧泉データ	4-3
4.2	地下水のポテンシャル	4-4
4.2.1	帯水層単元の分類と特徴	4-4
4.2.2	帯水層ポテンシャルの評価	4-5
4.3	参考文献	4-28
5	水質分析	5-1
5.1	サンプル地点の選定	5-1
5.2	水質分析の項目と方法及び精度管理	5-3
5.3	水質分析の結果	5-4
5.3.1	トリリニアダイアグラムの結果と解釈	5-4
5.3.2	ヘキサダイアグラムの結果と解釈	5-10
5.4	水質の評価	5-16
5.4.1	水質基準の解釈	5-16
5.4.2	クラスター解析の評価と解釈	5-27
6	地下水利用可能性評価図	6-1
6.1	帯水層評価の凡例と考え方	6-1
6.2	図面と利用方法（解説）	6-5
7	ソマリ州の水資源情報図	7-1
7.1	関連データの収集	7-1
7.1.1	涵養量に関連するデータの収集	7-1
7.1.2	地形に関連するデータの収集	7-2
7.1.3	地質に関連するデータの収集	7-2
7.1.4	水質に関連するデータの収集	7-2
7.1.5	その他関連データの収集	7-3
7.2	情報図の作成方法	7-5
7.3	主要項目の解析結果	7-5
7.3.1	エチオピア及びソマリ州の自然条件	7-5
7.3.2	降水量分布図	7-6
7.3.3	可能蒸発散量分布図	7-8

7.3.4	植生分布図	7-11
7.3.5	地形	7-12
7.3.6	地質	7-13
7.3.7	リニアメント	7-17
7.3.8	主要地域の地形	7-21
7.3.9	地下水面と地形	7-22
7.4	図面と利用方法（解説）	7-29
7.4.1	調査地域のグリッド区分	7-29
7.4.2	各因子の最大値の重み付け	7-30
7.4.3	各因子の最小値の重み付け	7-30
7.4.4	WRIMランクの分け方	7-31
7.4.5	水質のランク区分	7-41
7.4.6	WRIM(水資源情報図)の凡例と利用方法	7-43
8	結論	8-1
8.1	結果の概要	8-1
8.2	結論	8-1

表 目 次

	頁:
表 2.1: Class1観測所での観測項目	2-1
表 2.2: ソマリ州気象観測所一覧表	2-3
表 2.3: NMA (アディスアベバ) で入手した観測所一覧表	2-5
表 2.4: NMA (Jijiga 事務所) で入手した観測所一覧表	2-5
表 2.5: ソマリ州各気象観測所標高と年雨量	2-6
表 2.6: 確率雨量表	2-7
表 2.7: 観測蒸発量	2-8
表 2.8: 気温の観測データ (最高、最低)	2-9
表 2.9: Gode Met.の日照時間	2-10
表 2.10: Jijigaの日照時間	2-11
表 2.11: 流量観測所諸元 (MoWE)	2-13
表 2.12: 流量観測所諸元	2-13
表 2.13: 月別流況表 (流出高)	2-16
表 2.14: 流域面積と流出高	2-17
表 2.15: 面積雨量に使用する雨量データ	2-18
表 2.16: 基準地点別月流出高	2-18
表 2.17: Thornthwait法による各地の可能蒸発散量	2-19
表 2.18: 蒸発散量として使用した値	2-19
表 2.19: 算術計算結果	2-20
表 2.20: BFI計算結果	2-21
表 2.21: 各観測所の基底流量値 (地下水涵養量)	2-21
表 2.22: タンクモデルによる計算結果	2-23
表 3.1: ソマリ州及びその周辺の地質層序表	3-15
表 3.2: 地質図の地質単元区分	3-19
表 3.3: 地形・地質区分図の凡例	3-34
表 3.4: 地形・地質断面図の凡例	3-34
表 4.1: ソマリ州で実施された水理地質調査の主な例	4-1
表 4.2: ソマリ州の湧泉情報	4-3
表 4.3: 帯水層単位の分類と特徴	4-4
表 5.1: 採水地点の概要	5-1
表 5.2: 分析項目毎の水質分析方法	5-4
表 6.1: 帯水層ポテンシャル区分表	6-2
表 6.2: 地下水利用可能性評価図の凡例	6-5
表 6.3: 水資源 (地下水) 利用可能性評価断面図の凡例	6-5
表 6.4: Kabribeyah郡の井戸掘削記録	6-8
表 6.5: Araarso郡の井戸掘削記録	6-11
表 6.6: Dagahbur郡の井戸掘削記録	6-12
表 6.7: Birqod郡の井戸掘削記録	6-13
表 6.8: Shaygosh郡の井戸掘削記録	6-16
表 6.9: Kabridahar郡の井戸掘削記録	6-18
表 6.10: Doba wein郡の井戸掘削記録	6-22

表 6.11:	Rasso郡の井戸掘削記録	6-23
表 6.12:	West Ime郡の井戸掘削記録.....	6-24
表 6.13:	East Ime郡の井戸掘削記録.....	6-25
表 6.14:	Adadle郡の井戸掘削記録	6-26
表 6.15:	Danan郡の井戸掘削記録.....	6-27
表 6.16:	Godey郡の井戸掘削記録	6-29
表 6.17:	Beercaano郡の井戸掘削記録.....	6-30
表 6.18:	Kalafo郡の井戸掘削記録	6-31
表 6.19:	Mustahil郡の井戸掘削記録.....	6-32
表 7.1:	収集した1次データ	7-3
表 7.2:	収集した2次データ	7-4
表 7.3:	主要地域別の降水量分布	7-7
表 7.4:	主要地域の可能蒸発散量分布	7-9
表 7.5:	ソマリ州における降水量と可能蒸発散量の比較	7-9
表 7.6:	地域の細分による降水量と可能蒸発散量の比較	7-10
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	7-11
表 7.8:	細分した地域の植生分布	7-12
表 7.9:	岩相による透水係数のランク区分	7-16
表 7.10:	ソマリ州地域別の地形標高及び面積	7-21
表 7.11:	WRIMを解析するための要因設定(%).....	7-31

目 次

	頁:
図 1.1: 調査の概略工程	1-1
図 1.2: 業務の概要	1-2
図 1.3: 調査範囲図	1-3
図 2.1: ソマリ州気象観測所位置図	2-4
図 2.2: 雨量と標高の相関図	2-6
図 2.3: 年雨量の変動	2-7
図 2.4: Gode及びJijigaの観測蒸発量	2-8
図 2.5: Gode Met.の月別気温（最高、最低）	2-9
図 2.6: Jijigaの月別気温（最高、最低）	2-10
図 2.7: Gode Met.及びJijigaの月別日照時間	2-10
図 2.8: Gode Met. 月別風速	2-12
図 2.9: Gode Met.年間風速頻度分布	2-12
図 2.10: Degahabour 月別風速	2-12
図 2.11: Degahabour 年間風速頻度分布	2-12
図 2.12: 流量観測所位置図	2-14
図 2.13: 流況図(Jarar Degahabur)	2-15
図 2.14: 月別流量(Jarar Degahabur)	2-15
図 2.15: 流況図(Wabi Gode)	2-15
図 2.16: 月別流量(Wabi Gode)	2-16
図 2.17: 河川流出高と流域面積との相関図	2-17
図 2.18: ティーセン法による各流域の面積分布	2-20
図 2.19: タンクモデルの構造	2-22
図 2.20: ハイドログラフ	2-22
図 3.1: エチオピア国の地形区分 ²⁰⁾	3-1
図 3.2: エチオピア国の流域区分	3-2
図 3.3: 地形の走向・傾斜と地形の関係 ¹⁵⁾	3-3
図 3.4: ジャラル渓谷及びシェベレ川支流の模式地形構造	3-3
図 3.5: ジャラル渓谷及びシェベレ川支流で特徴的な地形を示すランドサット画像	3-4
図 3.6: 東北東－南西南方向の断層と推定される地質構造	3-5
図 3.7: エチオピア国の地質概略図 ²⁰⁾	3-5
図 3.8: 対象地域の概略地質図（SHAAC, 2012） ¹⁸⁾	3-9
図 3.9: 地形区分の対象地域（ジャラル峡谷及びシェベレ川支流）	3-10
図 3.10: 使用したランドサット画像の撮影日	3-10
図 3.11: ランドサット画像	3-11
図 3.12: PALSAR画像の例	3-12
図 3.13: リニアメント判読図（断層と推定される線状構造）	3-13
図 3.14: リニアメント判読図（一般的な線状構造）	3-14
図 3.15: 地質単元区分の考え方の一例	3-16
図 3.16: 地質図	3-17
図 3.17: 基盤岩類の表層部分布域	3-21

図 3.18:	Adigrat砂岩層の表層部分布域.....	3-22
図 3.19:	Hamanlei層の表層部分布域.....	3-23
図 3.20:	Urandab層の表層部分布域.....	3-24
図 3.21:	Kabridahar石灰岩層の表層部分布域.....	3-25
図 3.22:	Amba Aradam砂岩層の表層部分布域.....	3-26
図 3.23:	Korahe石膏層の表層部分布域.....	3-27
図 3.24:	Mustahil石灰岩層の表層部分布域.....	3-28
図 3.25:	Ferfer石膏層の表層部分布域.....	3-29
図 3.26:	Beletwein石灰岩層の表層部分布域.....	3-30
図 3.27:	Jessoma砂岩層の表層部分布域.....	3-31
図 3.28:	時代未詳古期玄武岩の地表部分布域.....	3-32
図 3.29:	未区分第四紀玄武岩の表層部分布域.....	3-33
図 3.30:	Kabribeyah郡の地形・地質区分図.....	3-35
図 3.31:	Kabribeyah郡の地形・地質断面図（河川に並行）.....	3-36
図 3.32:	Kabribeyah郡の地形・地質断面図（河川を横断）.....	3-36
図 3.33:	Araarso郡、Dagahbur郡、Birqod郡の地形・地質区分図.....	3-37
図 3.34:	Araarso郡－Dagahbur郡－Birqod郡の地形・地質断面図（河川に並行）	3-38
図 3.35:	Araarso郡の地形・地質断面図（河川を横断）.....	3-38
図 3.36:	Dagahbur郡の地形・地質断面図（河川を横断）.....	3-39
図 3.37:	Birqod郡の地形・地質断面図（河川を横断）.....	3-40
図 3.38:	Shaygosh郡の地形・地質区分図.....	3-41
図 3.39:	Shaygosh郡の地形・地質断面図（河川に並行）.....	3-42
図 3.40:	Shaygosh郡の地形・地質断面図（河川を横断）.....	3-42
図 3.41:	Kabridahar郡の地形・地質区分図.....	3-43
図 3.42:	Kabridahar郡の地形・地質断面図（河川に並行）.....	3-43
図 3.43:	Kabridahar郡の地形・地質断面図（河川を横断－北部）.....	3-44
図 3.44:	Kabridahar郡の地形・地質断面図（河川を横断－南部）.....	3-44
図 3.45:	Doba wein郡の地形・地質区分図.....	3-45
図 3.46:	Doba wein郡の地形・地質断面図（河川に並行）.....	3-46
図 3.47:	Doba wein郡の地形・地質断面図（河川を横断）.....	3-46
図 3.48:	Rasso郡の地形・地質区分図.....	3-47
図 3.49:	West Ime郡の地形・地質区分図.....	3-48
図 3.50:	East Ime郡の地形・地質区分図.....	3-49
図 3.51:	Adadle郡の地形・地質区分図.....	3-50
図 3.52:	Danan郡の地形・地質区分図.....	3-51
図 3.53:	Godey郡の地形・地質区分図.....	3-52
図 3.54:	Beercaano郡の地形・地質区分図.....	3-53
図 3.55:	Kalafo郡の地形・地質区分図.....	3-54
図 3.56:	Mustahil郡の地形・地質区分図.....	3-55
図 3.57:	シェベレ川支流の地形・地質断面線位置図.....	3-56
図 3.58:	シェベレ川支流の地形・地質断面図（Line-1）.....	3-56
図 3.59:	シェベレ川支流の地形・地質断面図（Line-2）.....	3-57
図 3.60:	シェベレ川支流の地形・地質断面図（Line-3）.....	3-57

図 4.1:	井戸掘削位置図	4-3
図 4.2:	井戸掘削結果の状況	4-6
図 4.3:	Adigrat帯水層の層厚分布	4-6
図 4.4:	Hamanlei帯水層の層厚分布	4-7
図 4.5:	Urandab帯水層の層厚分布	4-7
図 4.6:	Kabridahar帯水層の層厚分布	4-8
図 4.7:	Amba Aradam帯水層の層厚分布	4-8
図 4.8:	Korahe帯水層の層厚分布	4-9
図 4.9:	Mustahil帯水層の層厚分布	4-9
図 4.10:	Ferfer帯水層の層厚分布	4-10
図 4.11:	Beletwein 帯水層の層厚分布	4-10
図 4.12:	Jessoma帯水層の層厚分布	4-11
図 4.13:	Auradu帯水層の層厚分布	4-11
図 4.14:	玄武岩（古期玄武岩）帯水層の層厚分布	4-12
図 4.15:	玄武岩（新期玄武岩）帯水層の層厚分布	4-12
図 4.16:	第四系帯水層の層厚分布	4-13
図 4.17:	基盤岩類の上面深度分布	4-13
図 4.18:	Adigrat帯水層の上面深度分布	4-14
図 4.19:	Hamanlei帯水層の上面深度分布	4-14
図 4.20:	Urandab帯水層の上面深度分布	4-15
図 4.21:	Kabridahar帯水層の上面深度分布	4-15
図 4.22:	Amba Aradam帯水層の上面深度分布	4-16
図 4.23:	Korahe帯水層の上面深度分布	4-16
図 4.24:	Mustahil帯水層の上面深度分布	4-17
図 4.25:	Ferfer帯水層の上面深度分布	4-17
図 4.26:	Beletwein帯水層の上面深度分布	4-18
図 4.27:	Jessoma帯水層の上面深度分布	4-18
図 4.28:	Auradu帯水層の上面深度分布	4-19
図 4.29:	玄武岩（古期玄武岩）帯水層の上面深度分布	4-19
図 4.30:	玄武岩（新期玄武岩）帯水層の上面深度分布	4-20
図 4.31:	第四系帯水層の上面深度分布	4-20
図 4.32:	Adigrat帯水層の下面深度分布	4-21
図 4.33:	Hamanlei帯水層の下面深度分布	4-21
図 4.34:	Urandab帯水層の下面深度分布	4-22
図 4.35:	Kabridahar帯水層の下面深度分布	4-22
図 4.36:	Amba Aradam帯水層の下面深度分布	4-23
図 4.37:	Korahe帯水層の下面深度分布	4-23
図 4.38:	Mustahil帯水層の下面深度分布	4-24
図 4.39:	Ferfer帯水層の下面深度分布	4-24
図 4.40:	Beletwein帯水層の下面深度分布	4-25
図 4.41:	Jessoma帯水層の下面深度分布	4-25
図 4.42:	Auradu帯水層の下面深度分布	4-26
図 4.43:	玄武岩（古期玄武岩）帯水層の下面深度分布	4-26
図 4.44:	玄武岩（新期玄武岩）帯水層の下面深度分布	4-27

図 4.45:	第四系帯水層の下面深度分布	4-27
図 5.1:	水質分析用採水地点位置図	5-1
図 5.2:	トリリニアダイアグラム (全データ)	5-5
図 5.3:	トリリニアダイアグラム (ボアホール水)	5-6
図 5.4:	トリリニアダイアグラム (ダッグ・ウエル水)	5-7
図 5.5:	トリリニアダイアグラム (河川水)	5-8
図 5.6:	トリリニアダイアグラム (処理水)	5-9
図 5.7:	へキサダイアグラム(1/5)	5-11
図 5.8:	へキサダイアグラム (2/5)	5-12
図 5.9:	へキサダイアグラム (3/5)	5-13
図 5.10:	へキサダイアグラム (4/5)	5-14
図 5.11:	へキサダイアグラム (5/5)	5-15
図 5.12:	アンモニウムイオン濃度	5-16
図 5.13:	硫酸イオン濃度	5-17
図 5.14:	硝酸イオン濃度	5-18
図 5.15:	濁度	5-19
図 5.16:	フッ素イオン濃度	5-20
図 5.17:	全蒸発残留物 (TDS)	5-21
図 5.18:	pH	5-22
図 5.19:	塩素イオン濃度	5-23
図 5.20:	ナトリウムイオン濃度	5-24
図 5.21:	マンガンイオン濃度	5-25
図 5.22:	鉄イオン濃度	5-26
図 5.23:	全硬度	5-27
図 5.24:	主要イオンを用いたクラスター解析結果	5-28
図 5.25:	クラスター分布 (全データ)	5-29
図 6.1:	帯水層ポテンシャル分布	6-3
図 6.2:	Kabribeyah郡の地下水利用可能性評価図	6-6
図 6.3:	Kabribeyah郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川に並行)	6-7
図 6.4:	Kabribeyah郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川を横断)	6-7
図 6.5:	Araarso郡、Dagahbur郡、Birqod郡の地下水利用可能性評価図	6-9
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)	6-10
図 6.7:	Araarso郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川を横断)	6-10
図 6.8:	Dagahbur郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川を横断)	6-11
図 6.9:	Birqod郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川を横断)	6-13
図 6.10:	Shaygosh郡の地下水利用可能性評価図	6-14
図 6.11:	Shaygosh郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川に並行)	6-15
図 6.12:	Shaygosh郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川を横断)	6-15
図 6.13:	Kabridahar郡の地下水利用可能性評価図	6-16
図 6.14:	Kabridahar郡の地下水利用可能性評価断面図 (河川に並行)	6-17
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)	6-17
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)	6-18

図 6.17:	Doba wein郡の地下水利用可能性評価図.....	6-20
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)	6-21
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)	6-21
図 6.20:	Rasso郡の地下水利用可能性評価図	6-23
図 6.21:	West Ime郡の地下水利用可能性評価図.....	6-24
図 6.22:	East Ime郡の地下水利用可能性評価図.....	6-25
図 6.23:	Adadle郡の地下水利用可能性評価図	6-26
図 6.24:	Danan郡の地下水利用可能性評価図.....	6-27
図 6.25:	Godey郡の地下水利用可能性評価図	6-29
図 6.26:	Beercaano郡の地下水利用可能性評価図	6-30
図 6.27:	Kalafu郡の地下水利用可能性評価図	6-31
図 6.28:	Mustahil郡の地下水利用可能性評価図.....	6-32
図 6.29:	シェベレ川支流の地形・地質区分断面線位置図.....	6-33
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)	6-34
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)	6-34
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)	6-35
図 7.1:	地形と地下水流動系(修正した概念図).....	7-2
図 7.2:	エチオピア国全体とソマリ州の自然条件.....	7-6
図 7.3:	ソマリ州と周辺の年間降水量分布図	7-7
図 7.4:	ソマリ州とその周辺の年間可能蒸発散量分布図.....	7-8
図 7.5:	地下水涵養量を区分した結果.....	7-10
図 7.6:	ソマリ州及びその周辺の植生分布図.....	7-11
図 7.7:	ソマリ州とその周辺における地形と帯水層区分.....	7-12
図 7.8:	ソマリ州とその周辺の表層地質.....	7-14
図 7.9:	透水係数平均値対数のランク区分.....	7-17
図 7.10:	収集したLandsat とPALSARイメージの範囲.....	7-18
図 7.11:	ソマリ州内にある方向別のリニアメントの総長.....	7-18
図 7.12:	ソマリ州内及び周辺地域にある方向別のリニアメントの総長.....	7-19
図 7.13:	PALSARイメージの統合図 (一部)	7-19
図 7.14:	リニアメント抽出図 (多数のノイズ有り)	7-20
図 7.15:	PALSARによるリニアメント抽出結果例.....	7-21
図 7.16:	Shebele地域の地形区分	7-23
図 7.17:	ソマリ州地域内の急傾斜地の分布.....	7-24
図 7.18:	河川周辺の平坦地区区分図.....	7-25
図 7.19:	500mmベースの年平均降水量区分図.....	7-26
図 7.20:	河川周辺地域のランク区分.....	7-27
図 7.21:	山と平野の区分ベース.....	7-28
図 7.22:	山と平野の区分.....	7-28
図 7.23:	地下水位が比較的浅いと予想された地域.....	7-29
図 7.24:	WRIM結果1.....	7-32
図 7.25:	WRIM結果2.....	7-32
図 7.26:	WRIM結果3.....	7-33
図 7.27:	WRIM結果4.....	7-33
図 7.28:	WRIM結果5.....	7-34

図 7.29:	WRIM結果6.....	7-34
図 7.30:	WRIM結果7.....	7-35
図 7.31:	WRIM結果8.....	7-35
図 7.32:	WRIM結果9.....	7-36
図 7.33:	WRIM結果10.....	7-36
図 7.34:	WRIM結果11.....	7-37
図 7.35:	WRIM結果12.....	7-37
図 7.36:	WRIM結果13.....	7-38
図 7.37:	WRIM結果14.....	7-38
図 7.38:	WRIM結果15.....	7-39
図 7.39:	WRIM結果16.....	7-39
図 7.40:	WRIM結果17.....	7-40
図 7.41:	WRIM結果18.....	7-40
図 7.42:	水質分布図（UNHCR,2012）	7-41
図 7.43:	水質区分図と水資源情報との対比	7-42

略語一覧

ABE	Alternative Basic Education	代替初等教育
ARRA	Administration for Refugee and Returnee Affairs	難民及び帰還民事務局
BoFED	Bureau of Finance and Economic Development	財務経済開発局
BPR	Business Process Reengineering	業務機構改革
CSA	Central Statistical Agency	中央統計局
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research	国際農業研究協議グループ
CSE	The Conservation Strategy of Ethiopia	エチオピア国環境保護戦略
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
C/P	Counterpart (organization or personnel)	カウンターパート (人・組織)
DFID	Department for International Development	英国国際開発庁
DF/R	Draft Final Report	ドラフトファイナルレポート
DTH	Down the Hole Hammer	ダウンザホールハンマー
DPPB	Disaster Prevention and Preparedness Bureau	ソマリ州防災対策局
EC	Electric Conductivity	電気伝導度
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EPA	The Environmental Protection Authority	エチオピア国環境保護局
EPC	The Environmental Protection Council	環境保護評議会
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機構
ESIA	Environmental and Social Impact Assessment Unit	環境社会影響調査ユニット
EU	European Union	欧州連合
EU-WATCH	Water and Global Change (WATCH) program funded by the European Union	欧州連合の水と地球の変化管理(WATCH)プログラム
EWTEC	Ethiopia Water Technology Center	エチオピア水技術センター
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	国連食糧農業機関
F/R	Final Report	ファイナルレポート
F/S	Feasibility Study	実現可能性調査
GEM	Global Environment Monitoring	地球環境監視欧州連合
GIS	Geographical Information System	地理情報システム
GLCF	Global Land Cover Facility	米国メリーランド大学開発のLandsat画像
GLG	Grass Land GIS	草地GIS世界資源研究所
GMT	Greenwich Mean Time	グリニッジ標準時
GSE	Geological Survey of Ethiopia	エチオピア地質調査所
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
GUPE map	Groundwater Utilization Potential Evaluation map	地下水利用可能性評価図
IC/R	Inception Report	インセプションレポート
IEE	Initial Environmental Examination	初期環境影響評価
IRC	International Rescue Committee	国際救護委員会 (NGO)
ISCGM	International Steering Committee for Global Mapping	地球地図国際運営委員会
IT/R	Interim Report	インテリムレポート
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
JSS	JAXA Supercomputer System	日本宇宙航空研究開発機構

JWSO	Jijiga Water Supply Office	ジジガ市給水事務所
MODIS	MODIS Land Cover Product by using Moderate resolution Imaging Spector radiometer of Earth-Observing-System EOS	アメリカ航空宇宙局開発の中分解能撮像分光放射計による土地被覆生産量
MoFED	Ministry of Finance and Economic Development	財務・経済開発省
MoWR	Ministry of Water Resources	水資源省(水エネルギー省の旧名)
MoWE	Ministry of Water and Energy	水エネルギー省
MrSID	Multi-resolution Seamless Image Database	マルチ解像度 完全画像データベース、米国セラータム・インク開発
NFE	Non Formal Education	非正規教育
NGO	Non-Governmental Organization	非政府組織
NMA	(Addis Ababa) National Meteorology Agency	国立気象サービス局
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	米国海洋大気庁
NRCS	Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture	米国自然資源保全局
O&M	Operation and Maintenance	(機材・施設の) 運営・維持管理
OJT	On the Job Training	実地研修、協働による研修
PR/R	Progress Report	プログレスレポート
PA	Preliminary environmental assessment study	事前環境影響評価調査
PALSAR	Phased Arrayed L-type Synthetic Aperture Radar	フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー
R/D	Record of Discussion	討議議事録
REA	Regional Environmental Agencies	州立環境保護庁
RGSR	Regional Government of Somali Region	ソマリ州政府
RWBs	Regional Water Bureaus	州水局
SAGE	Center for Sustainability And the Global Environment at the University of Wisconsin Madison	米国ウィスコンシン大学マディソン持続可能利用地球環境センター
SEDAC	Socioeconomic Data and Applications Center	USNASA所属 社会経済データ研究センター
SEPMEDA	Somali Regional State Environmental Protection, Mine and Energy Development Agency	ソマリ州環境保護・鉱山・エネルギー開発庁
SHAAC	Shaac Consulting Engineers	ソマリ州のコンサルタント会社
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	スペースシャトル立体地形レーダー作成ミッション
SRWDB	Somali Regional Water Resources Development Bureau	ソマリ州水資源局
SWWCE	Somali Water Works and Construction Enterprise	ソマリ州水資源公社
TDM	Time Domain Method	時間領域電磁探査
TEM	Transient (or Time-domain) Electromagnetic Method	時間領域電磁探査法
TOT	Training of Trainers	講師のための研修
TVETC	Technical and Vocational Education and Training College	技術職業訓練教育大学校
UAP	Universal Access Program	ユニバーサルアクセスプログラム
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
UNEP	United Nations Environment Programme	国連環境計画
UNHCR	United Nations High Commissioner for Refugees	国連難民高等弁務官事務所

UNICEF	United Nations Children's Fund	国連児童基金
USDA	United States Department of Agriculture	米国農業省
USAID	United States Agency for International Development	米国国際開発庁
USGS	United States Geological Survey	米国地質調査所
UTM	Universal Transversal Mercator	ユニバーサル横メルカトル図法
VES	Vertical Electrical Sounding	垂直電気探査
WASH	Water Supply, Sanitation and Hygiene Program	水と保健と衛生の強化プログラム
WASHCO	Water Supply and Health Committee	水衛生組合
WATSANCO	Water, Sanitation & Hygiene Committee	給水保健衛生組合
WFP	World Food Programme	国連世界食料計画
WLR	Water Level Recorder	自記水位計
WMO	World Meteorological Organization	国連世界気象機関
WRI	World Resources Institute	世界資源研究所
WRIM	Water Resources Information Map	水資源情報図
WSDP	Water Sector Development Program	水セクター開発プログラム
WTP	Willingness to Pay	支払い意思額

1. 調查概要

1 調査概要

1.1 プロジェクトの概要

本報告書は2011年12月23日にエチオピア連邦民主共和国（以下エチオピア国）と国際協力機構（以下JICA）により合意・署名された討議議事録（以下R/D）に基づいて「エチオピア国ジャラル溪谷及びシェベレ川流域水資源開発計画策定・緊急給水プロジェクト」の2013年7月末までの最終の調査結果をまとめたものである。JICAは、本業務遂行のために14名の団員（のち1名追加）からなるコンサルタントチームを調査団として組織した。この調査団による業務は2012年3月から開始し、2013年8月に終了する。調査の概略工程を図1.1に示す。

契約年次	第1年次																				
調査年度	2012												2013								
暦月	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8			
現地調査		第一次現地調査																第二次現地調査			
国内調査	国内準備作業														第一次国内作業			第二次国内作業			
レポート	▲ IC/R													▲ IT/R			▲ DF/R	▲ F/R			

図 1.1: 調査の概略工程

第一次現地調査は、2012年4月から2013年4月まで行い、調査のはじめには Inception Report（以下 IC/R）をエチオピア国側に提出協議し、エチオピア国側の要望も取り入れ会議議事録（以下 M/M）をエチオピア国側と調査団で取り交わした（2012年4月）。Progress Report（以下 P/R）は調査開始から概ね7ヶ月後に提出協議し、そこに至るまでの主な調査結果をまとめた。Interim Report（以下 IT/R）はその後5ヶ月後に提出協議し、中間段階のまとめを行った。二つの報告書とも運営委員会での協議を経て修正を加え、MM をエチオピア国側と調査団で取り交わした（M/Mの交換はP/R：2012年11月、IT/R：2013年4月）。Draft Final Report（DF/R）は第一次国内作業を経て第二次現地作業で2013年6月末にエチオピア国側に提出し、運営委員会での協議後に調査団とM/Mの交換を行った。その後エチオピア国側からのコメントに対して最終修正を行ったのちに、2013年9月中旬までに Final Report（F/R）をエチオピア国側に提出し終了となる。

本調査は、ジャラル溪谷及びシェベレ川流域において、既存情報の収集・分析、自然条件調査及び社会条件調査等から得られる情報をもとに給水計画を策定することを目的とする。併せて、ソマリ州全域の水理地質情報の整理、Kabribeyah 市及び Godey 市を中心としたソマリ州の緊急給水及びソマリ州水資源局（Somali Regional Water Resources

Development Bureau : SRWDB) 等エチオピア国関係機関の能力強化の実施を目的とする。
調査による期待される成果およびそれに呼応する調査活動は以下の通りである。

(1) 本調査実施により期待される成果

- 1) ジャラル渓谷及びシェベレ川流域における水資源の利用可能性が評価される。
- 2) ジャラル渓谷及びシェベレ川流域における給水計画が策定される。
- 3) C/P の給水計画策定能力が向上する。
- 4) Kabribeyah 市における給水状況が改善する。
- 5) Godey 市給水システムの F/S が実施される。
- 6) 緊急給水用資機材の供与により、ソマリ州全域の緊急給水体制が整備される。

(2) プロジェクトの活動

上記 (1) の成果を出すために本業務においては以下の主な活動を実施する。

- 1) 水資源開発可能性調査による水資源開発可能性の把握
- 2) 給水計画策定による具体的な給水改善計画の提案
- 3) 緊急給水工事による現状給水状況の改善
- 4) 短期技術研修による関連職員の能力強化

以上をまとめると、本業務は図 1.2に示すとおりに概観することができる。すなわち業務内で上記 (2) の活動を行うことにより、業務終了時には (1) の将来の成果（上位目標）が発現する。具体的に策定された給水改善計画をエチオピア国側の関係者が、短期および中長期研修で獲得した知識・技術を活用しながら実施することにより目的を将来的に達成するというものである。

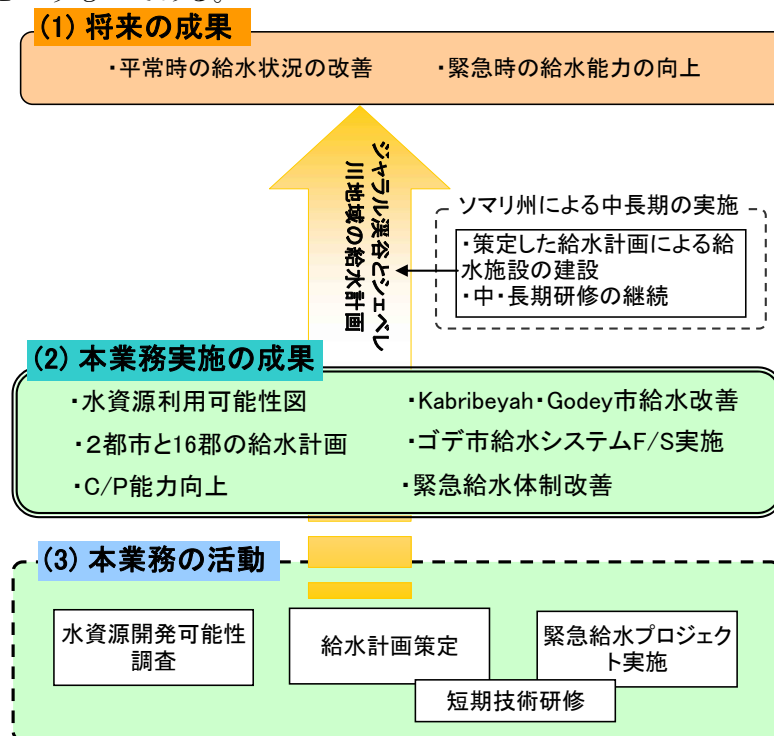


図 1.2: 業務の概要

業務対象地域は、緊急給水に関する事業はソマリ州全域、給水計画と水資源開発可能性調査に関してはジャラル溪谷地域のサブゾーンおよびシベレ川流域地域のサブゾーンである。また、給水計画の一部として実施するパイロットプロジェクトの工事は Kabribeyah 市と Godey 市で行った。これらの地域および市の位置を以下の図 1.3に示した。最終の対象とした郡は 16 郡、都市では 2 市（Kabribeyah 市、Godey 市）である。



図 1.3: 調査範囲図

前述のように調査団側は 15 名の団員を派遣したが、それぞれの分野に対応してエチオピア国側も 16 名（ひとつの分野で 2 名のところあり）をカウンターパート（以下 C/P）として選出した。業務はエチオピア国の C/P 機関等との密接な連携を通じて実施された。

次に R/D に基づき運営委員会を設置した。本業務では、多くの関係機関が存在するため、関係機関による情報共有を行う場として運営委員会の開催の必要性があった。調査団は、重要事項の決定や業務の進捗状況の共有、問題や課題についての協議および業務で作成する各種報告書の承認等で運営委員会を活用し、円滑な業務の実施を図った。

運営委員会のメンバーは、以下の通りである。

【議長】

水エネルギー省（Ministry of Water and Energy : MoWE）給水・能力強化局長

【メンバー】

- 1) 経済財務省（Ministry of Finance and Economic Development : MoFED）の代表者
- 2) MoWE 給水・能力強化局メンバー
- 3) 難民及び帰還民事務局（Administration for Refugee and Returnee Affairs : ARRA）の Jijiga での代表者
- 4) SRWDB の局長
- 5) SRWDB の副局長（給水担当）
- 6) SRWDB の副局長（給水施設運営、水資源調査担当）
- 7) ジャラル溪谷水道事務所の代表者
- 8) Godey 水道局の代表者
- 9) ソマリ州防災対策局（Disaster Prevention and Preparedness Bureau : DPPB）の代表者
- 10) UNHCR Jijiga 事務所の代表者
- 11) ソマリ州環境保護・鉱山・エネルギー開発庁の環境評価担当部局（Somali Regional State Environmental Protection, Mine and Energy Development Agency : SEPMEDA）のメンバー
- 12) 財務経済開発局（Bureau of Finance and Economic Development : BoFED）のメンバー
- 13) JICA 調査団
- 14) JICA エチオピア事務所

1.2 レポート構成

今回のレポート構成は原則として 4 つの大きな活動に沿ってまとめた。ただし緊急給水と運営維持管理はひとつにまとめ、また Godey 市の Feasibility Study はひとつの巻とした。大きな項目は次の通りである。

<メインレポート>

- 第1章 調査概要
- 第2章 ソマリ州の緊急、恒常的な給水ニーズのための調査
- 第3章 給水施設の運営維持管理
- 第4章 Godey 市給水計画の実現可能性調査
- 第5章 結論と提言

<第1巻 水資源（地下水）利用可能性調査>

- 第1章 調査概要
- 第2章 気象・水文
- 第3章 地質

- 第4章 水理地質
- 第5章 水質分析
- 第6章 地下水利用可能性評価図
- 第7章 ソマリ州の水資源情報図
- 第8章 結論

<第2巻 給水計画>

- 第1章 調査概要
- 第2章 給水計画の基礎データ
- 第3章 水資源と既存施設
- 第4章 各郡の給水計画と積算及び実施計画
- 第5章 Kabribeyah 市の給水計画と概算設計及び概算事業費と実施計画
- 第6章 Godey 市の給水計画と概算設計及び概算事業費と実施計画
- 第7章 結論

<第3巻 緊急給水、給水施設の運営維持管理>

- 第1章 調査概要
- 第2章 緊急給水
- 第3章 給水施設の運営維持管理
- 第4章 結論

<Godey 市の給水計画に対するフィージビリティ・スタディ>

- 第1章 調査の概要
- 第2章 調査地域
- 第3章 社会経済調査
- 第4章 水資源調査
- 第5章 人口と水需要
- 第6章 既存給水状況
- 第7章 給水計画と施設評価
- 第8章 積算
- 第9章 運営維持管理
- 第10章 環境社会配慮
- 第11章 経済・財務評価
- 第12章 結論

1.3 第1巻の概要

本巻ではソマリ州の自然条件のうち水資源に関する情報に関して、気象・水文、地形地質、水理地質および水質のデータ整理を行った。その解析結果に基づき地下水も含めて水資源のポテンシャル評価を行い、ジャラル溪谷及びシェベレ川流域のサブベーズンについて作成した地下水利用可能性評価図について記載している。またリモートセンシング資料や既存の水質データから作成した、ソマリ州全域での水資源情報図に関しても記述した。

気象・水文に関しては、調査地域での地下水涵養量の推定や恒常河川流量の確保の可能性等を念頭に置きながら調査を実施した。気象データは主に面積雨量の算出のための雨量データ、蒸発散量データ、気温データの収集結果をまとめた。また水文データでは河川流量データと流域面積のデータを入手し、河川流量解析として流域面積と流出高との相関関係を算出した。水収支解析は、一般的な算術計算手法（面積雨量と可能蒸発散量はティーセン法手法で求めた）、BFI（基底流量解析）手法およびタンクモデル手法による算出を行い、地下水涵養量の値を求めた。

地形地質や水理地質および水質に関するデータ解析結果は、最終的には地下水利用可能性評価図に反映させた。ソマリ州全体の地質に関しては既存資料の解析から地質層序表と層相が記載された。その地質層序を基準にして、地形地質解析や既存井戸情報の結果から給水計画マスタープラン（M/P）作成対象の郡に関して、地形・地質境界、井戸位置等を含んだ地形・地質分類図、地形・地質断面図、および井戸掘削情報をまとめた。その結果、各郡の地質状況、井戸分布の平面的な情報ならびに断面的な解釈がなされた。井戸の情報では主に位置情報、井戸深度、および地下水位の変動と揚水量の関係の情報が整理された。また井戸柱状図から上述の地質との対比および地質の帯水層判定が行われ水理地質的な帯水層分類と特徴が明確になり、これらは地下水利用可能性評価図の凡例（分類）の帯水層のポテンシャル評価に反映された。

水質分析の解析は、103箇所でのサンプリングされた。採水した箇所の内訳は、ボアホール30地点、ハンドダッグウェル39地点、給水施設の処理水14地点及び河川水20地点である。結果はトリリニアダイアグラムやヘキサダイアグラムに整理された。

水質は、室内分析室において19項目について分析を実施した。評価は、WHOやエチオピア基準から考察すると、主に基準をオーバーする試料が多い項目は、濁度、TDS、塩素イオン及び全硬度であった。

地下水利用可能性評価図は、定量的な井戸の帯水層データが少なく、相対的な地下水ポテンシャル評価図となっている。図面は縮尺25万分の1で、ジャラル溪谷とシェベレ川流域のサブベーズンを含んだ地質図と評価図を作成した。

水資源情報図は縮尺200万分の1でジャラル溪谷およびシェベレ川サブ流域の地下水利用可能性評価図を参考にしつつ、ソマリ州全体の水資源情報評価をリモートセンシング技術手法も含めて作成した。水資源情報に影響を与える、地下水涵養量（降水量分布図と可能蒸発散量からの相対的な比較）、地形、地質、リニアメントの各要因に対して重みづけを行った図面に、UNESCOが50万分の1の「水理地質図」で使用したTDSを

中心に凡例を作成した水質区分のデータを引用させていただき、最終的に重ね合わせた図面を作成した。

2. 気象・水文

2 気象・水文

2.1 気象データの収集とレビュー

本プロジェクトに必要な気象データは、エチオピア国の気象サービス局（National Meteorological Agency: NMA）のアディスアベバの事務所及びソマリ州を管轄している Jijiga 事務所より入手した。ただし、Jijiga 事務所より入手したデータはここ数年内に観測を開始した観測所が多く、且つ通年（12 ヶ月）観測されている観測所はほとんど無い状況である。Jijiga に勤務している職員の話では、機器類のトラブルや故障があってもトラブルの解決や修理に時間がかかり、観測の継続がむずかしいとの事である。また、観測所の現状を把握するため、Jijiga 近傍の 3 箇所の観測所（Lefiesa, Kebribeya, Hadew）及び Gode town 観測所を見学した。これらの観測所は、以下に述べる観測所クラス 3 に該当し、観測は近傍住民（学校の先生や政府の職員など）に依頼している。観測者の意識により観測の時間や記録方法にかなりのばらつきがあり、信頼性はかなり低いと判断される。なお、本報告書において用いている観測所名の英語表記は NMA の表記をそのまま用いている。

アディスアベバ事務所より入手したデータは、雨量、風向・風力、蒸発量、気温、日照時間に関するものである。なお、Jijiga 事務所より入手したデータは Gode Met.及び Error 観測所以外は月雨量のみである。

エチオピアのすべての観測所はクラス付けがなされており、クラスごとに観測項目が異なる。クラス 1 からクラス 4 まで有り、概ね以下の様な観測を行っている。（NMA Website）

クラス 1

これらの観測所は総観気象（synoptic meteorology）と呼ばれ、24 時間の時間観測を行ってデータは毎日無線で本部に送られている。エチオピアにはこれらの観測所は 22 箇所あり、観測項目は以下の表 2.1のとおりである。

表 2.1: Class1 観測所での観測項目

	観測項目	観測内容
1	日雨量	雨量計（手動、自動）
2	日最高・最低気温	最大最小温度計（水銀式）
3	相対湿度	湿度計
4	露点温度	計算
5	蒸発量	クラス A 蒸発パン、Piche 蒸発計
6	日照時間	Campbell-stokes recorder
7	風向・風速	カップ式風速計、風車式風速計
8	Cold cloud duration	衛星画像の解析、気象気球
9	気圧	気圧計
10	天気概況	計算による予測
11	視界	視認
12	土壌温度	水銀式温度計

クラス 2

これらの観測は気候学（climatology）を目的とし、3時間ごとに（3:00,6:00,9:00,12:00,15:00 GMT）計測されている。このクラスの観測所はエチオピアに現在 150 箇所以上設置されている。観測項目はクラス 1 から視界および気圧関係の観測が除かれている。

クラス 3

このランクの観測所は、気温（日最大、日最小）および雨量の 3 項目のみで、観測は 6:00 と 15:00(GMT)の 2 回/日である。

クラス 4

このランクの観測所は、雨量のみ 6:00(GMT) 1 回/日となっている。

必要な気象データはアディスアベバの NMA で購入することが可能である。ただし、地方の観測所のデータは基本的には地方の NMA で整理された後アディスアベバの NMSA に送付されている。この度のデータ収集についてもアディスアベバで観測所の位置およびクラス等を確認し、必要と判断された観測所のデータを入手した。入手したデータの種類は雨量（日雨量）、気温（最高、最低）、蒸発量、日射量、風向・風力である。ただし、クラス 1、2 の観測所であっても機械の故障その他の原因による欠測が多い。クラス 3、4 の観測所にあつては前記したように、基本的には現地観測所近傍の有識者を雇う形で観測を依頼しており、観測指導の不徹底による欠測や計測ミス等が多い事が指摘される。

2.1.1 ソマリ州での気象観測所

アディスアベバの NMA で入手したソマリ州の気象観測所リストは、以下の表 2.2のとおりである。NMA からのデータをそのまま添付する。また、観測所位置図を図 2.1に示す。

表 2.2: ソマリ州気象観測所一覧表

No	Lon	Lat	Alt	Station name	Class	Region		
1	44.27	6.73	537	Kebridehar	1	Somale		
2	43.58	5.9	290	Gode	2	Somale	Gode	Gode
3	42.233333	10.416667	758	Adigala	3	Somale	Shinile	Adigala
4	40.983333	9.45	1056	Afdem	3	Somale	Shinile	Afdem
5	41.87	9.37	1755	Dawe	3	Somale		
6	42.6	9.8	1340	Dembel	3	Somale	Shinile	Shinile
7	44.68	8.22	941	Deror	3	Somale		
8	42.616667	11.033333	807	Dewole	3	Somale	Shinile	Ayisha
9	41.366667	9.55	1088	Erer	3	Somale	Shinile	Erer
10	43.17	9.48	1693	Gobiyere	3	Somale		
11	43.58	5.88	291	Gode Town	3	Somale	Gode	Gode
12	42.866667	10.116667	1097	Gogeti	3	Somale	Jijiga	Awber
13	41.57	9.2	2280	Goromitte	3	Somale		
14	42.666667	9.366667	1807	Hadew	3	Somale	Jijiga	Jijiga
15	41.5	10.17	2712	Harewacha	3	Somale		
16	43.733333	8.916667	1441	Harshin	3	Somale	Shinile	Shinile
17	41.83	8.65	1124	Husie	3	Somale		
18	42.1	9.72	1084	Jeldessa	3	Somale		
19	43.166667	9.1	1753	Kebribeya	3	Somale	Jijiga	Kebribeya
20	42.97	9.6	1733	Lefesa	3	Somale		
21	41.33	9.22	2733	Mekella	3	Somale		
22	45.33	8.12	798	Misraq gashamo	3	Somale		
23	41.833333	9.683333	1024	Shinile	3	Somale	Shinile	Shinile
24	42.43	9.5	2007	Tuluguled	3	Somale		
25	42.716667	9.916667	1097	Arabi	4	Somale	Shinile	Denbel
26	42.6	9.5	2007	Chinakson	4	Somale	Jijiga	Jijiga
27	43.35	9.15	1630	Hartisheik	4	Somale	Jijiga	Kebribeya
28	42.966667	9.6	1733	Lefeisa	4	Somale	Jijiga	Jijiga
29	43.216667	9.783333	1611	Teferi ber	4	Somale	Jijiga	Aware
30	42.3167	10.75		Aysha	1	Somali		
31	42.61	4.6355	318m	Barre	1	Somali		
32	40.2882	6.8237	1234m	Belle	1	Somali		
33	43.55	8.216667	1070	Degahabour	1	Somali	Degahabur	Degahabur
34	42.05	4.173	179m	Doloooddo	1	Somali		
35	42.1052	5.8355	924m	Elkerre	1	Somali		
36	40.643	5.1063	1225m	Filtu	1	Somali	Liben	Liben
37	42.13	5.26		Harghelle	1	Somali		
38	42.117	6.45		Immi	1	Somali		
39	42.783333	9.333333	1775	Jijiga	1	Somali	Jijiga	Jijiga
40	41.5333	4.5177	391m	Boqolmayo	3	Somali	Korahiy	Shilabo
41	41.874	5.336	286m	Cheretti	3	Somali	Afder	Cheretti
42	42.5	9.5833		Giragocher	3	Somali		Giragocher
43	44.116667	5.6	250	Kelafo	3	Somali	Gode	Kelafo
44	43.5	9.36		Togochale	3	Somali	Jijiga	Jijiga

出典：Ethiopia National Meteorological Agency, Meteorological Data and Climatology Directorate(2012)

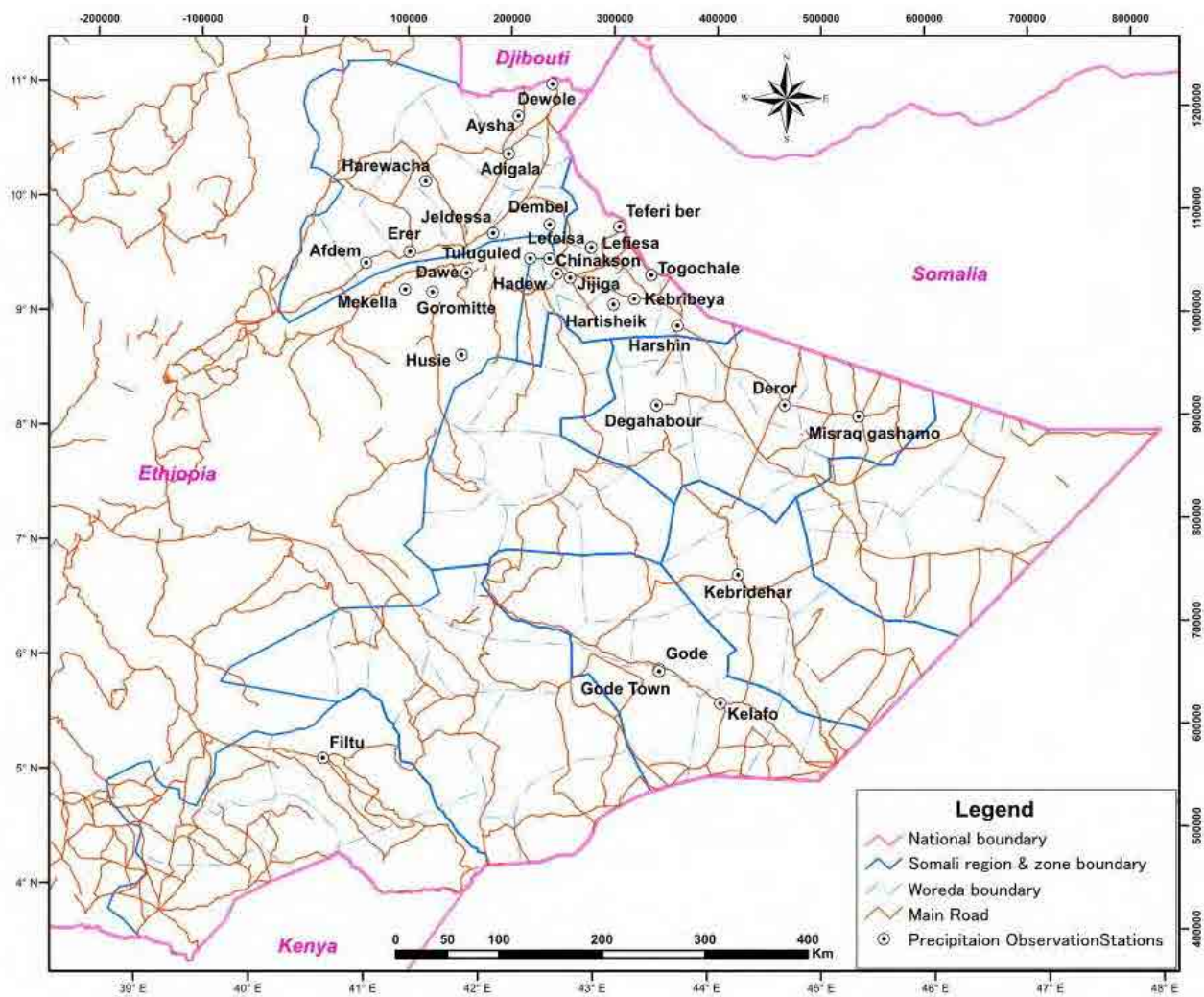


図 2.1: ソマリ州気象観測所位置図

2.1.2 降水量データ

アディスアベバの NMA より入手出来たデータ（日雨量）は、以下の表 2.3のとおりである。

表 2.3: NMA(アディスアベバ)で入手した観測所一覧表

No.	Station Name	Coordinates		Altitude(m)	Duration	MD-1(%)	MD-2(%)
		LON(E)	LAT(N)				
1	Hadew	9.37	42.67	1807	2001-2010	20.4	20.4
2	Kebri Dehar	6.73	44.27	537	1985-2003	13.0	13.0
3	Gode Met	5.9	43.58	290	1985-2010	41.3	15.2
4	Gode Town	5.88	43.58	291	2004-2009	40.9	60.6
5	Kebribeya	9.1	43.17	1753	2009-2010	36.2	36.2
6	Chinaksen	9.5	42.6	2007	2004-2010	7.3	7.3
7	TeferiBer(Aware)	9.78	43.22	1611	2003-2006	33.7	33.7
8	Degahabur	8.22	43.55	1070	1985-2010	21.4	10.7
9	Jijiga	9.33	42.78	1775	1985-2010	57.9	15.8
10	Filtu	5.11	40.64	1225	1980-1999	19.1	21.5
11	Hartishiek	9.15	43.35	1630	2003-2008	39.5	19.6

MD-1: Percentage of missing data for the whole observation years.

MD-2: Percentage of missing data except those years without any observation data.

出典 : Ethiopia National Meteorological Agency, Meteorological Data and Climatology Directorate, Addis Ababa(2012)

なお、Jijiga の NMA から以下の表 2.4に示す観測所のデータを入手した。

表 2.4: NMA(Jijiga 事務所)で入手した観測所一覧表

Station Name	Class	Altitude (SML-m)	Coordinate		Duration	MD-1	MD-2
			Latitude	Longitude			
Errar	3	1,088	41.37	9.55	1968~2011	28.8	15.9
Kebribeya	1	537	44.27	6.73	2009~2011	16.7	16.7
Gode Town	3	291	43.58	5.88	1979~2011	14.4	5.8
Adigala	3	758	42.23	10.42	2009~2011	66.7	66.7
Afdem	3	1,056	40.98	9.45	2009~2011	52.8	52.8
Dawe	3	1,755	41.87	9.37	2009~2011	27.8	27.8
Dembel	3	1,340	42.6	9.8	2009~2011	30.6	30.6
Deror	3	941	44.68	8.22	2009~2011	47.2	47.2
Dewole	3	807	42.62	11.03	2009~2011	47.2	47.2
Goromuti	3	2,280	41.57	9.2	2009~2011	25.0	25.0
Harawacha	3	2,712	43.73	8.92	2009~2011	41.7	41.7
Harshin	3	1,441	43.73	8.92	2006~2011	6.9	6.9
Husie	3	1,124	41.83	8.65	2009~2011	75.0	75.0
Jeldesa	3	1,084	42.1	9.72	2010~2011	33.3	33.3
Lefesa	3	1,733	42.97	9.6	2009~2011	50.0	50.0
Mekela	3	2,733	41.33	9.22	2010~2011	8.3	8.3
Misraq Gashamo	3	798	45.33	8.12	2009~2011	61.1	61.1
Tuluguled	3	2,007	42.43	9.5	2009~2011	69.4	69.4
Kocher	-	-	-	-	2009~2011	25.0	25.0
Toguchale	3		43.5	9.36	2009~2011	19.4	19.4
Kelafu	3	250	44.12	5.6	2009~2011	50.0	50.0
Aysha	1		42.32	10.75	2009~2011	13.9	13.9
Hadew	3	1,807	42.67	9.37	2001~2011	9.1	9.1

MD-1: Percentage of missing data for the whole observation years.

MD-2: Percentage of missing data except those years without any observation data.

出典 : Ethiopia National Meteorological Agency, Data Management & Dissemination, Jijiga Office(2012)

一般的には、標高と降雨量は相関関係があると言われており、ソマリ州内雨量計の年雨量と標高の関係を以下の表 2.5に示す。これらの検討結果からは、ソマリ州の雨量と標高には明確な相関関係は認められない。なお、使用したデータ収集期間にかなりのばらつきがあり、それらの影響も考えられる（図 2.2参照）。

表 2.5: ソマリ州各気象観測所標高と年雨量

Station Name	Altitude(m)	Precipitation (mm/year)	Duration
Hadew	1807	637.8	2001～2011
Kebridahar	1753	220.0	1985～2003
Gode Met	290	272.7	1966～2012
Gode Town	291	236.0	2004～2009
Chinaksen	2007	621.0	2004～2010
Teferiber(Aware)	1611	746.6	2003～2006
Degahabur	1070	335.1	1985～2010
Jijiga	1775	572.1	1985～2010
Filtu	1225	436.3	1980～1999
Hartishiek	1630	246.3	2003～2008
Kebribeya	537	271.1	2009～2010
Dawe	1755	603.0	2009～2011
Dembel	1340	425.0	2009～2011
Harshin	1441	427.1	2006～2011
Mekela	2733	866.0	2010～2011
Errar	1088	525.4	1968～2011

出典：National Meteorological Agency(NMA), Meteorological Data and Climatology Directorate による観測データ(2012)

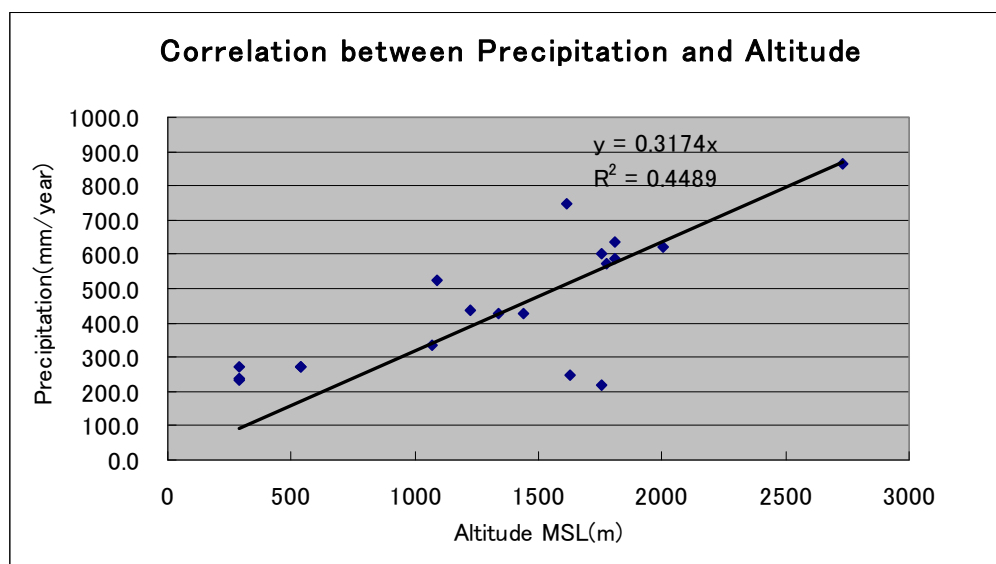


図 2.2: 雨量と標高の相関図

次に、代表的な地点の年雨量資料に基づき確率降雨量を算定する。降水量は年により変動する。従って、降雨量変動の確率を解析することも重要である（表 2.6参照）。本調査の目的の一つには新規水源開発計画の立案であり、降水量が少ない年は地表水量が少なく、また地下水位が低下することが一般的である。従って、給水量確保の観点から確

率降水量の分析は重要である。算定手法は数多くあるが、ここでは図式解法（Hazen Plot 及び Tomas Plot）を用いる。また、比較的長期の観測がある地点の年雨量を図 2.3に示す。

表 2.6: 確率雨量表

Kebridahar					
	Non-Ex(%)	Thomas	Hazen	Mean	Return Period
Dry Year	1	61.0	73.3	67.1	100
	2	70.6	83.1	76.8	50
	5	88.0	100.2	94.1	20
	10	107.0	118.4	112.7	10
	25	135.6	144.9	140.2	5
50	213.2	213.2	213.2	2	2
Wet Year	75	335.3	313.7	324.5	5
	90	424.9	383.9	404.4	10
	95	516.7	453.6	485.1	20
	98	643.8	547.2	595.5	50
	99	745.5	620.2	682.9	100
Number of Data					N=11

Gode Met.					
	Non-Ex(%)	Thomas	Hazen	Mean	Return Period
Dry Year	1	43.0	49.0	46.0	100
	2	52.2	58.6	55.4	50
	5	69.8	76.6	73.2	20
	10	90.4	97.2	93.8	10
	25	123.6	129.6	126.6	5
50	224.9	224.9	224.9	2	2
Wet Year	75	409.2	390.2	399.7	5
	90	559.6	520.5	540.0	10
	95	724.7	660.2	692.4	20
	98	969.3	862.9	916.1	50
	99	1176.7	1031.5	1104.1	100
Number of Data					N=27

Degahabur					
	Non-Ex(%)	Thomas	Hazen	Mean	Return Period
Dry Year	1	108.6	121.2	114.9	100
	2	122.9	135.4	129.2	50
	5	148.0	159.9	153.9	20
	10	174.5	185.3	179.9	10
	25	213.1	221.7	217.4	5
50	312.1	312.1	312.1	2	2
Wet Year	75	457.3	439.5	448.4	5
	90	558.3	525.7	542.0	10
	95	658.3	609.4	633.8	20
	98	792.4	719.6	756.0	50
	99	898.8	804.0	850.4	100
Number Of Data					N=20

Errar					
	Non-Ex(%)	Thomas	Hazen	Mean	Return Period
Dry Year	1	73.8	90.2	82.0	100
	2	90.7	108.2	99.4	50
	5	123.4	142.1	132.8	20
	10	162.3	181.2	171.7	10
	25	226.1	243.1	234.6	5
50	426.6	426.6	426.6	2	2
Wet Year	75	804.6	748.5	776.5	5
	90	1121.1	1004.2	1062.7	10
	95	1474.4	1280.1	1377.2	20
	98	2006.8	1682.2	1844.5	50
	99	2464.8	2018.3	2241.5	100
Number Of Data					N=17

(表中の N はデータ数)

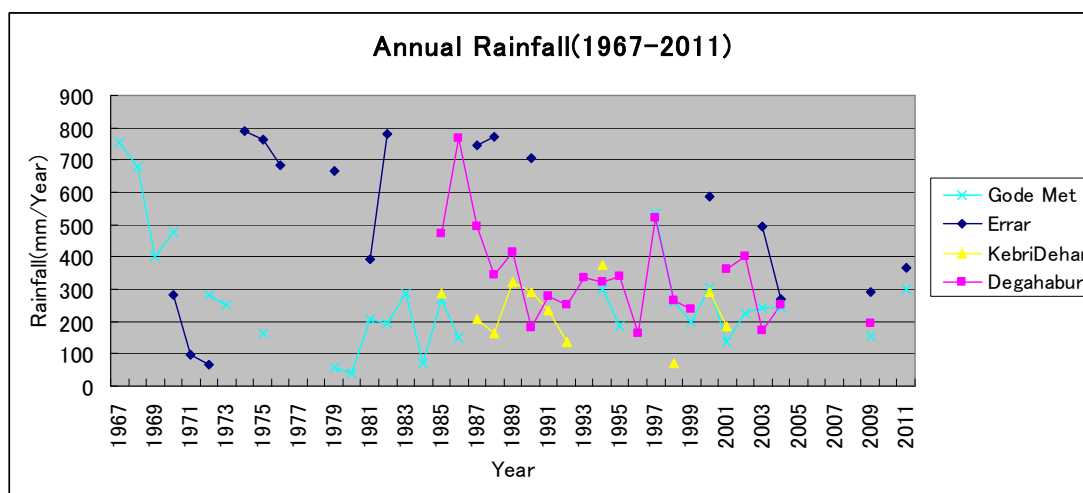


図 2.3: 年雨量の変動

出典：National Meteorological Agency(NMA), Meteorological Data and Climatology Directorate による観測データ(2012)

2.1.3 蒸発量

蒸発量は以下に示す 5 箇所の地点での観測結果を入手した。これらの計測は、蒸発パンによって計測されたものである。ただし、Filtu は Wabi Shebele river 流域外である（表 2.7 参照）。

表 2.7: 観測蒸発量

Station	Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jly.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual total
Filtu	1989	367.3	347.0	255.2	129.7	88.9	120.2	141.2	168.0	169.1	114.2	121.9	188.1	2210.8
	1990	246.1	221.7	152.3	62.0	109.1	160.8	150.7	165.9	177.7	124.7	181.2	232.2	1984.4
	1991	296.7	333.2	309.8	178.1	170.9	68.2	99.1	92.7	207.7	228.3	234.6	329.0	2548.3
	1992	309.3	266.7	273.7	190.6	156.5	175.5	116.1	174.1					
	1993	228.9	199.6	256.5	186.9	183.4	156.1	192.6	248.6	256.4	212.0	146.8	208.7	2476.5
	1994	273.6	297.6	261.7	130.9	116.8	198.5	242.9	229.2	254.8	157.1	93.0	190.7	2446.8
	1995	271.0	260.0	253.8	188.9	219.7	242.0	301.9	256.6	239.1	157.8	188.4	202.7	2781.9
	1996	205.5	185.9	181.7	146.8	148.6	142.3	172.4	184.4	233.1	146.9	140.5	140.3	2028.4
	1997	201.6	176.1	177.6	140.9	154.3	171.4	142.0	165.1	151.5	122.8	124.2	161.2	1888.7
	Mean	266.7	254.2	235.8	150.5	149.8	159.4	173.2	187.2	211.2	158.0	153.8	206.6	2306.4
Kebridehar	2000	171.6	120.3	117.2	140.1	133.0	250.9	252.8	288.3	262.5	112.0	159.3	201.8	2209.8
	2001	241.8	201.9	197.0	97.8									
	Mean	206.7	161.1	157.1	119.0	133.0	250.9	252.8	288.3	262.5	112.0	159.3	201.8	2304.5
Jijiga	1987	225.0		116.7	108.9	117.8	103.0	142.7	143.8	130.1	143.6	205.6	211.9	
	1988	215.9	188.6	282.4	180.1	220.2	176.4	182.7	170.3	130.0	172.8	225.1	222.8	2367.3
	2000	121.5	94.5	146.6	127.4	175.8		237.5	182.4	133.9	177.8	154.9	158.1	
	2001	179.1	168.3	182.2	193.2	165.0	203.1	181.4	175.5	173.6	177.6	191.5	212.3	2202.8
	2002	197.2	193.8	189.5	155.4	147.6	215.0	229.1	212.5	156.5	188.3	223.8	166.3	2275.0
	2003	202.9	226.8	235.1	176.6	207.1	177.7	215.6	168.9	153.1	215.3	197.6	208.2	2384.9
	2004	158.5	254.8	230.2	123.8	181.9	152.5	190.4	180.5	137.3	168.7	157.3	173.7	2109.6
	Mean	185.7	187.8	197.5	152.2	173.6	171.3	197.1	176.3	144.9	177.7	193.7	193.3	2151.2
Gode	1987	447.9	393.2	399.5		153.9	238.7	354.9	436.0	394.2	262.9	240.7	291.3	
	1988	374.8	432.8	413.7	245.6	273.7								
	2000	475.6	477.4	525.9	373.8	173.3	369.6	429.9	486.4	403.6	134.2	213.2	368.1	4431.0
	2001	449.8	416.8	473.6	325.6	389.2	492.4	504.1	482.5	428.7	312.4	363.5	425.6	5064.2
	2002	512.2	461.8	484.4	273.6	389.5	325.6	485.5	480.8	322.0	201.8	219.8	399.4	4556.4
	2003	443.5	449.6	527.7	337.3	279.8	459.3	512.9	523.1	491.9	382.3	302.4	285.0	4994.8
2004	404.4	481.1	551.1	236.0	363.2	425.1	493.8	486.6	451.1	301.5	140.6	305.4	4651.9	
Mean	444.0	444.7	482.3	298.7	288.9	385.1	463.5	484.6	415.3	265.9	246.7	345.8	4565.4	
Degabour	1987	283.5	122.8	245.9	175.6	109.7	110.4	106.9	157.2	171.4	137.2	142.3	114.0	1876.9
	1988	130.2		102.8	82.4	131.9	90.6	157.0	124.3	202.4	87.6	97.9	220.4	
	2000		430.5	501.2	412.4	186.3	307.0	324.5	358.4	315.4	171.7	237.5	265.2	
	2001	202.5	229.1	218.5	145.4	157.7	188.9	155.0	211.2	140.3	140.5	179.6	230.2	2198.9
	2002	252.2	217.5	205.8	190.4	176.0	229.6	277.8	308.5	210.3	116.4	244.9	182.1	2611.5
	2003	218.2	191.8					293.7	297.1	248.3	298.8	340.5	299.4	
	2004	250.0	319.8	345.0	126.0	239.6				339.5	327.7	164.6	316.9	
	Mean	222.8	251.9	269.9	188.7	166.9	185.3	219.2	242.8	232.5	182.8	201.0	232.6	2596.4

出典：National Meteorological Agency(NMA), Meteorological Data and Climatology Directorate(2012)（ブランクは欠測）

以下の図 2.4に主要都市の Gode Met.と Jijiga の蒸発量のグラフを示す。Jijiga の蒸発量は年間を通して 200mm 以下で変動は少ないが、Gode の蒸発量は 4 月、5 月、10 月、11 月で 300mm を下回っているが、年合計で 4,500mm 以上の蒸発量を示している。

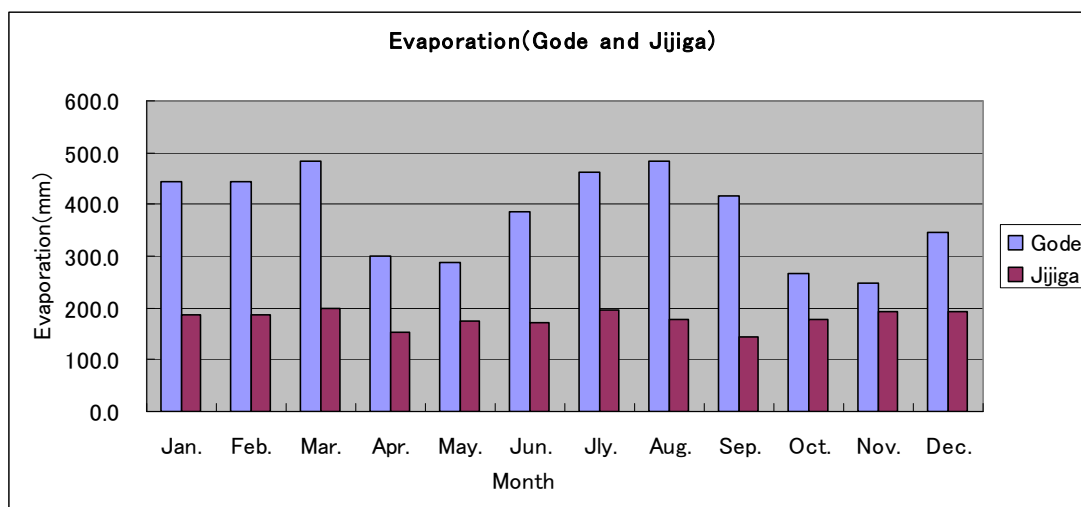


図 2.4: Gode 及び Jijiga の観測蒸発量

2.1.4 気温及びその他のデータ

a. 気温

気温データを収集した観測所と特性を表 2.8に示す。これらのデータは観測期間の日最大気温及び日最低気温それぞれの平均値である。また、今回対象としている地区の代表的な Gode Met.及び Jijiga の月別平均最高、最低気温を図 2.5、図 2.6に示す。

Gode Met.の最高気温、最低気温共に年間を通じて殆ど変化が無い（5℃以内）ことがわかる。Jijiga では最高気温は年間を通じて変動は少ないが、最低気温は11月から翌年の2月頃までは10℃を下回っており、高地の特徴を示している。

表 2.8: 気温の観測データ(最高、最低)

No.	Station Name	Duration		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Mean
1	Hadew	2001~2010	MAX	24.9	26.6	27.5	26.4	29.4	24.5	23.2	23.5	24.7	25.7	25.7	25.1	25.6
			MIN	10.8	11.8	13.5	13.5	13.5	13.0	12.7	12.5	12.2	11.9	11.6	10.9	12.3
			Mean	17.8	19.2	20.5	19.9	21.5	18.8	17.9	18.0	18.4	18.8	18.6	18.0	19.0
2	KebriDehar	1985~2003	MAX	34.4	35.6	36.0	34.6	32.5	31.7	31.0	31.8	33.1	30.6	33.6	34.1	33.3
			MIN	19.1	19.9	21.7	22.7	22.0	21.5	21.6	21.6	20.3	19.6	19.4	19.1	20.7
			Mean	26.8	27.7	28.9	28.6	27.3	26.6	26.3	26.7	26.7	25.1	26.5	26.6	27.0
3	Gode Met	1985~2005	MAX	35.6	36.8	37.3	35.8	34.4	33.8	33.0	33.7	35.4	34.3	34.1	34.8	34.9
			MIN	21.8	22.7	24.5	24.4	24.3	24.0	23.6	23.5	24.2	23.6	22.2	21.8	23.4
			Mean	28.7	29.8	30.9	30.1	29.4	28.9	28.3	28.6	29.8	28.9	28.1	28.3	29.2
4	Gode Town	2004~2009	MAX	30.3	36.7	37.6	35.8	35.2	33.7	34.3	34.9	35.8	33.5	34.5	35.6	34.8
			MIN	21.0	21.2	22.1	21.0	21.7	21.0	22.1	22.3	22.7	20.7	21.0	21.0	21.5
			Mean	25.6	28.9	29.8	28.4	28.4	27.4	28.2	28.6	29.2	27.1	27.7	28.3	28.1
5	Kebribeya	2007~2010	MAX	26.6	27.3	28.0	27.9	28.3	27.0	26.5	26.8	28.5	27.3	27.8	27.2	27.4
			MIN	11.4	13.7	14.4	15.8	15.3	14.4	13.6	14.3	14.9	13.7	13.6	11.5	13.9
			Mean	19.0	20.5	21.2	21.8	21.8	20.7	20.0	20.5	21.7	20.5	20.7	19.4	20.7
6	Degahabur	1985~2010	MAX	31.6	33.2	33.7	32.2	30.9	29.9	28.8	30.1	31.8	31.3	31.9	31.5	31.4
			MIN	16.9	17.2	17.2	18.2	19.6	19.6	19.4	20.0	20.3	19.4	17.6	17.2	18.5
			Mean	24.3	25.2	25.5	25.2	25.3	24.7	24.1	25.0	26.1	25.4	24.8	24.3	25.0
7	Jijiga	1985~2010	MAX	27.2	29.7	29.8	28.9	28.7	27.8	26.9	26.9	27.7	28.6	27.6	27.2	28.1
			MIN	7.7	7.9	10.9	13.7	15.0	16.0	16.0	15.9	15.3	10.7	7.8	7.3	12.0
			Mean	17.5	18.8	20.4	21.3	21.8	21.9	21.4	21.4	21.5	19.6	17.7	17.2	20.0
8	Harishiek	2009~2010	MAX	26.6	28.4	29.6	27.9	29.1	28.9	26.4	25.7	27.4	26.7	27.4	26.1	27.5
			MIN	3.1	4.9	7.0	7.5	8.3	8.6	8.0	7.7	7.7	5.5	1.1	5.5	6.2
			Mean	14.9	16.7	18.3	17.7	18.7	18.7	17.2	16.7	17.5	16.1	14.2	15.8	16.9

出典：National Meteorological Agency(NMA), Meteorological Data and Climatology Directorate による観測データ(2012)をもとに集計

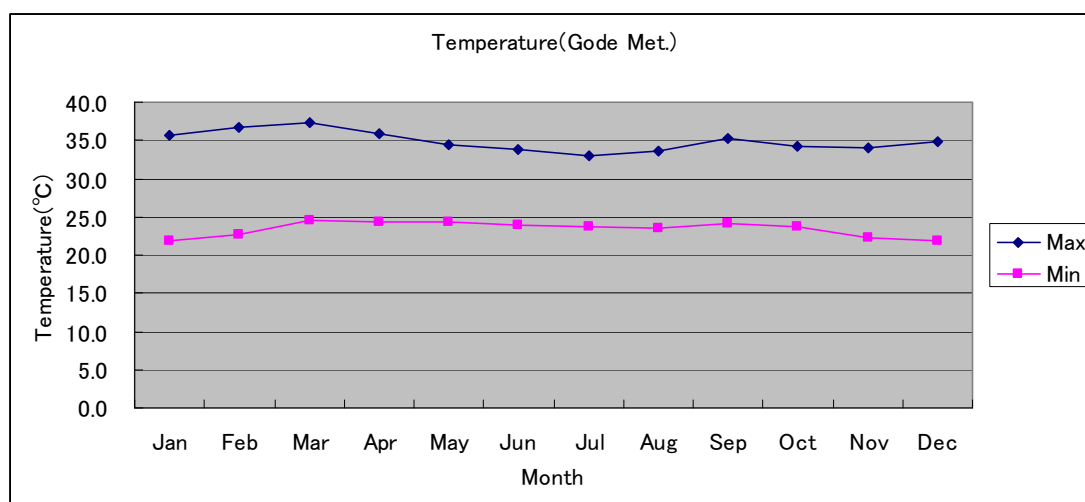


図 2.5: Gode Met.の月別気温(最高、最低)

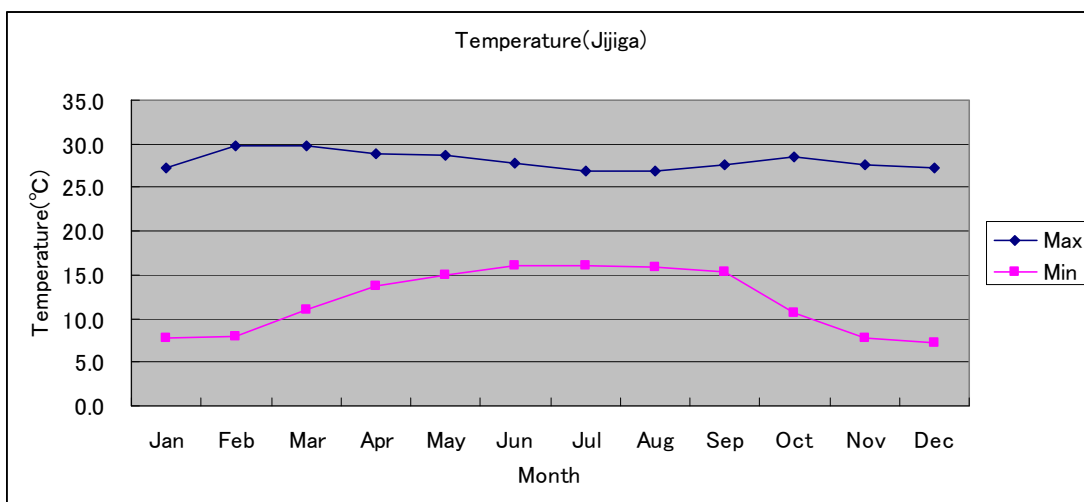


図 2.6: Jijiga の月別気温(最高、最低)

b. 日照時間

日照時間についても Gode Met.および Jijiga の月別日照時間を図 2.7、表 2.9及び表 2.10 に示す。これで見ると日照時間は6月から8月にかけて Gode Met.が Jijiga に比べて月平均で約 50 時間程度少ないが、年合計では殆ど変わらない。

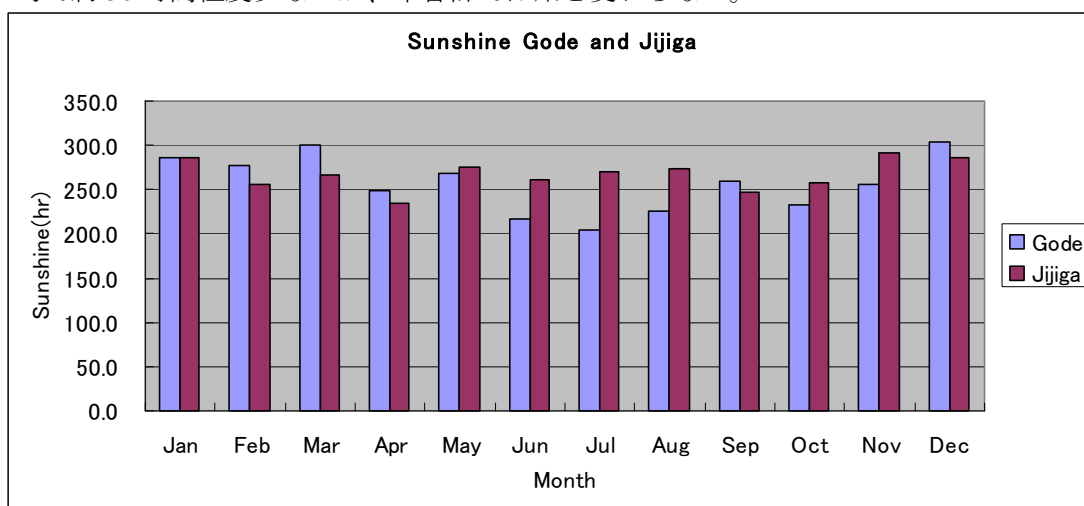


図 2.7: Gode Met.及び Jijiga の月別日照時間

表 2.9: Gode Met.の日照時間

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Mean
Jan	250.6	310.1	316.0	206.7		170.1	326.9	332.0		326.4	245.1	326.6		327.5	322.6		313.3	313.4		210.5	286.5
Feb	297.8	292.2	293.6	183.4	271.8	277.2	294.1	291.5		290.4	271.2	288.1		305.6	303.9	299.7	308.3	291.0	131.8	288.9	276.7
Mar	291.9	296.5	281.1	247.4		321.4	328.4	283.2		279.4	319.6		327.0	270.4	318.7	321.6	323.9	308.9	293.4	297.6	300.6
Apr	215.6	258.1	207.2	245.1	264.7	269.1	247.7	193.7		207.5	283.9		273.1	328.4	244.8	268.5	240.3	241.3	235.6	263.2	248.8
May	268.0	247.4			276.8	247.6	243.0	298.2		301.3	251.5		224.4	275.5	299.0		265.4	250.5	271.3	279.9	268.0
Jun		237.7			212.1		216.0	211.0	122.4	235.8	250.4		243.4	237.8	163.4	248.2	226.9	234.0	236.2	170.6	216.4
Jul	196.4	150.3			211.6	126.5	208.7	250.6	113.9	196.0	320.5	171.2	197.6		276.7	233.4	246.9	176.0	150.9	250.9	204.6
Aug	226.9	245.1			178.5	233.0	240.1	193.7	236.1	259.4	192.5		238.1	226.7	228.3	237.8	199.9	212.5	243.3	239.2	225.4
Sep	218.5	221.9			251.2	281.1	258.8		283.0	284.9	285.6		275.7	250.4	250.7	293.6	269.6	285.1	211.0	240.0	260.1
Oct	252.2	226.2			238.5	244.3	221.8	207.0	245.7	196.8	198.6		232.0	245.2	236.7	292.6	233.0	256.6	205.5	229.0	233.0
Nov	290.4	250.4			273.3	305.2	257.6	301.8	262.1	194.1	279.6		274.2	288.2	280.2	247.4	225.2		109.0	244.1	255.2
Dec	316.7	249.7			286.1	304.5	307.8		312.6		332.6		329.4	319.8	300.6	263.3	307.9			308.2	304.6
Total		2895.6					3190.9				3231.1				3225.6		3160.6			3022.2	3129.3

出典：National Meteorological Agency, Meteorological Data and Climatology Directorate (2012)

表 2.10: Jijiga の日照時間

Jijiga Sunshine																	
	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Mean
Jan			278.9	314.4	309.1	268.4	291.4	262.5	271.5	286.9	281.0	293.6	245.6	277.4	278.7	303.6	285.9
Feb	214.5		273.6	223.2	248.8	252.0		179.3		255.6	295.3	285.9	301.2	267.9	243.3	270.1	256.2
Mar	268.3		262.8	261.2	204.7	301.1	222.7	279.5		300.2	274.8	298.3	254.5	250.6	271.5	286.0	266.9
Apr	238.3		200.7		251.2	211.8	183.2	206.2		266.7	248.7	251.6	246.4	255.6	239.9	256.9	235.2
May	255.4		243.4	302.9	243.3	295.3	268.7	286.0		261.9	288.5	288.0	299.0	243.6	279.7	268.5	274.6
Jun			250.2	261.4		262.4					284.0		268.0	262.4	236.9	229.9	261.9
Jul			275.6	260.0	296.4	238.1	244.9	270.8		286.1	294.5	273.0	262.7	261.0	248.3	273.1	269.6
Aug			298.4	281.7	286.7	264.4	274.6	276.2				242.7	266.9	295.5	254.4	273.1	274.1
Sep		228.9	258.5	252.7	274.6	251.4					245.8	259.8	239.8	244.1	237.6	223.4	247.0
Oct		279.3	266.3		274.2	262.6		114.1			257.5	291.8	265.9	275.3	215.1	307.0	257.2
Nov	290.3	293.4	284.7	295.7		315.0		275.2			308.2	289.0	260.6	298.2	263.2	277.8	290.9
Dec	299.9	272.2	308.5	253.6		299.0		281.9			237.1	278.6	298.2	312.3	266.5	324.6	286.0
Total			3201.6			3261.4							3248.8	3264.0	3055.1	3294.0	3227.5
																Σ mean	3205.4

出典 : National Meteorological Agency, Meteorological Data and Climatology Directorate (2012)

c. 風向・風速

アディスアベバの NMA で入手した風向・風速のデータは Jijiga Met. と Gode Met. 及び Gode Town, Degahabour の 4 箇所で、その内 Jijiga と Gode Met. は既にグラフを作成してあり、そのデータをデータブックに添付する。なお、各観測所の統計期間及び観測時は以下のとおりである。

① Jijiga

Wind-rose diagram of Jijiga for the month of January to December

Based on 1980-2003 data at 1500 GMT

② Gode Met.

Wind-rose diagram of Gode Met for the month of January to December

Based on 1966-2002 data at 1200 GMT

Jijiga では 10 月～2 月ごろにかけては北ないしは北東からの風が多い。また、風速も 5m/s 以上の強い風の日が多い。3 月頃から次第に東から南風となるが、風速は 5m/sec 以下の日が多くなる。5 月は全方位から風が吹き、6 月から 9 月にかけては南西の風が多くなる。風速も 5m/sec の日が多い。

Gode Met では 11 月から 3 月頃までは東寄りの風が多く、風速も 5m/sec の日が多い。4 月は南よりの風が多いが概して全方位的に吹いている。風速も 5m/sec 以下の日が多い。その後 5 月から 10 月にかけては南西寄りの風が多く、風速も 6m/sec～8m/sec と年間を通して比較的強い風の日が多い。

Gode Met.(1994-2005) 及び Degahabour (1983-2005) の月別風速および風速別頻度を以下の図 2.8～図 2.11 に示す。（出典：水エネルギー省(2012) 気象・気候学データ管理部）

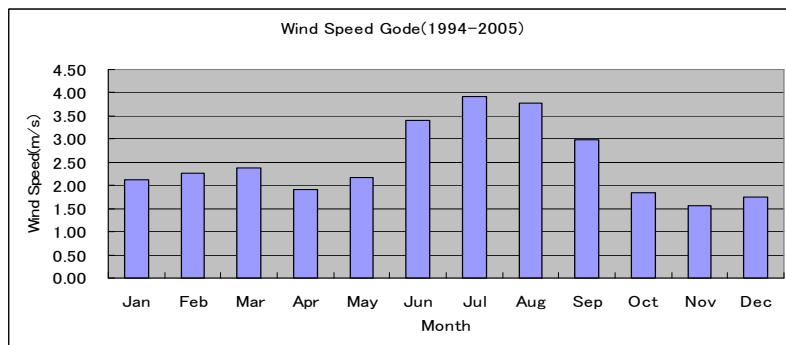


図 2.8: Gode Met. 月別風速

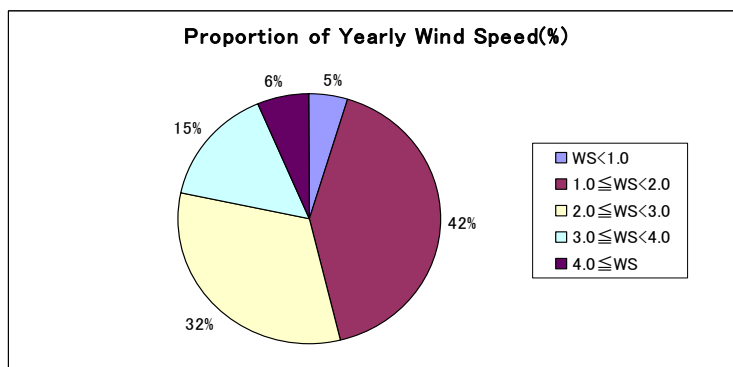


図 2.9: Gode Met.年間風速頻度分布

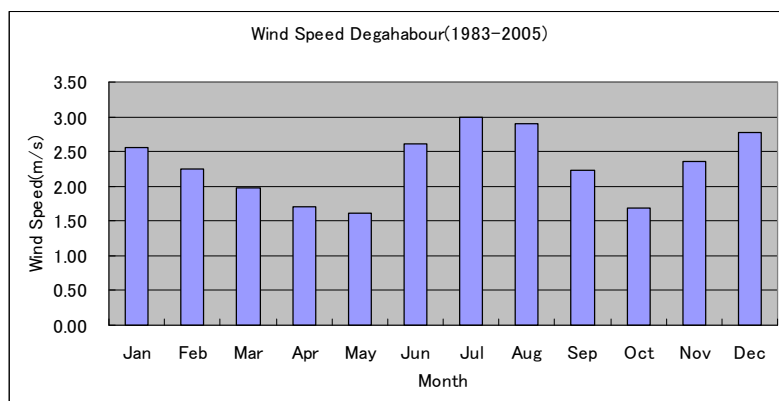


図 2.10: Degahabour 月別風速

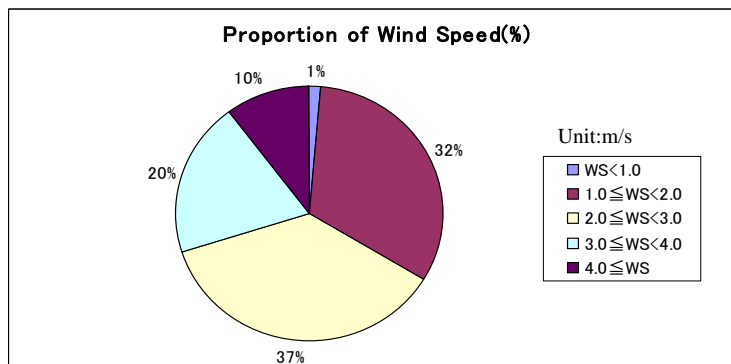


図 2.11: Degahabour 年間風速頻度分布

2.2 水文データの収集とレビュー

水文のデータは、水エネルギー省(MoWE)が所有している。シェベレ川流域内観測所を図 2.12に示す。また、2004年4月に纏められた「Wabi Shebele River Basin Integrated Development Master Plan Study Project」MoWR(水資源省)(現在 MoWE)の報告書で、表 2.12に示す観測所のデータを使用している。

2.2.1 ソマリ州での水文観測所

表 2.11に本調査に於いて水エネルギー省(MoWE)より入手した流量観測所の諸元並びにデータの有無を示す。現地において観測所の位置等を確認しようとしたが、Jijiga 及び Gode 両地区共に既に観測所は廃止されており、確認できなかった。データブックに示すように、Wabi Shebele River 流域内の観測所はソマリ州以外の州も含めて多数存在するが、2004年のレポートも含めて生のデータとして入手出来たものは、以下の表 2.12のとおりである。なお、観測所廃止年度及び廃止理由は解らない。また、観測所の英語表記は極力下記の表に従う。流量観測所位置を図 2.12に示す。

表 2.11: 流量観測所諸元(MoWE)

No.	River Name	Station Name	Station No.	Drainage Area(km ²)	Altitude(m)	Coordinate		O: No Missing Data Δ: Missing Data *: No Observation																		
						Latitude(N)	Longitude(E)	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
1	Jijiga	uper jijiga @ bridge	62016	910	1,520	9°14'	42°36'	○	△	△	○	○	○	△	△	○	○	△	○	*	*	*	*	*	*	
2	Wabi	wabi gode	63001	127,300	285	5°56'	43°33'																	△	○	△
4	Jawis	Jawis bedessa	62015	22	1,800	8°55'	40°47'																	△	○	△
5		Error Jijiga Road	002	947	1,700	9°21'	42°48'	○	△	△	○	○	○	△	△	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*	*

出典：水エネルギー省水文計測部 (Ministry of Water and Energy, Hydrology Department office (2012))

表 2.12: 流量観測所諸元

Station Name	River	Station No.	Coordinate		Altitude (m)	Watershed area (km ²)	year of installation	◎: 欠測なし △: 欠測有り ブランク: No Data													
			Lat(North)	Lon.(East)				1967	1968	1969	1970	1971	1972	2000	2001	2002					
Daketa Hamaro hadad	Dacata	13281109 62001	7° 20'	42° 17'	500	15,188	1968/2/5		△	△	△	◎									
Erer Hamaro Hadad	Erer	13281412 62003	7° 37'	42° 02'	450	15,132	1968/5/23				◎	◎									
Fafen Kebridahar	Fafen	13281602 63004	6° 45'	44° 17'	525	26,670	1968/6/28			◎	◎	◎									
Jerer Degahabur	Jerer	13284101 63003	8° 13'	43° 33'	1,050	6,338	1967/10/9			△	◎	◎	△								
Maribo Maribo confluence	Maribo	13282202 61010	7° 06'	38° 22'	2,350	1,038	1968/1/1		△	◎	◎										
Maribo Bridge Road of Dodola		13282201	7° 00'	38° 03'	2,450	137	1967/1/25	△	◎	◎	◎										
Wabishebele at Burkur	Wabishebele	13280103 63005	5° 11'	44° 48'	247	144,000	1969/1/6				△	◎									
Wabishebele Bridge Road of Dodola		13280108							△	◎	◎	◎									
Wabishebele At Gode	Wabishebele	13280112 63001	5° 56'	43° 43'	285	127,300	1967/10/4	△	△	◎	◎	◎	◎			△	◎				△
Wabishebele Hamaro Hadad	Wabishebele	13280115 62002	7° 24'	42° 11'	470	63,644	1968/2/11		△	◎	◎	◎									
WabiShebele At Imi	Wabishebele	13280118 63006	6° 29'	42° 8'	405	91,600	1969/3/1			△	◎	△									
WabiShebele At Kelafo	Wabishebele	13281021 63010	5° 36'	44° 8'	249	139,100	1969/1/8				◎	◎	◎								
Wabishebele Lege hida	Wabishebele	13280124 61011	7° 58'	40° 54'	950	20,473	1968/4/4					△	◎								
Wabi Shebele Malka Wakana	Wabishebele	13280127 61009	7° 11'	38° 26'	2,485	4,388	1967/7/22		△	◎	◎	◎									

出典：水エネルギー省水文計測部 (Ministry of Water and Energy, Hydrology Department office (2012))

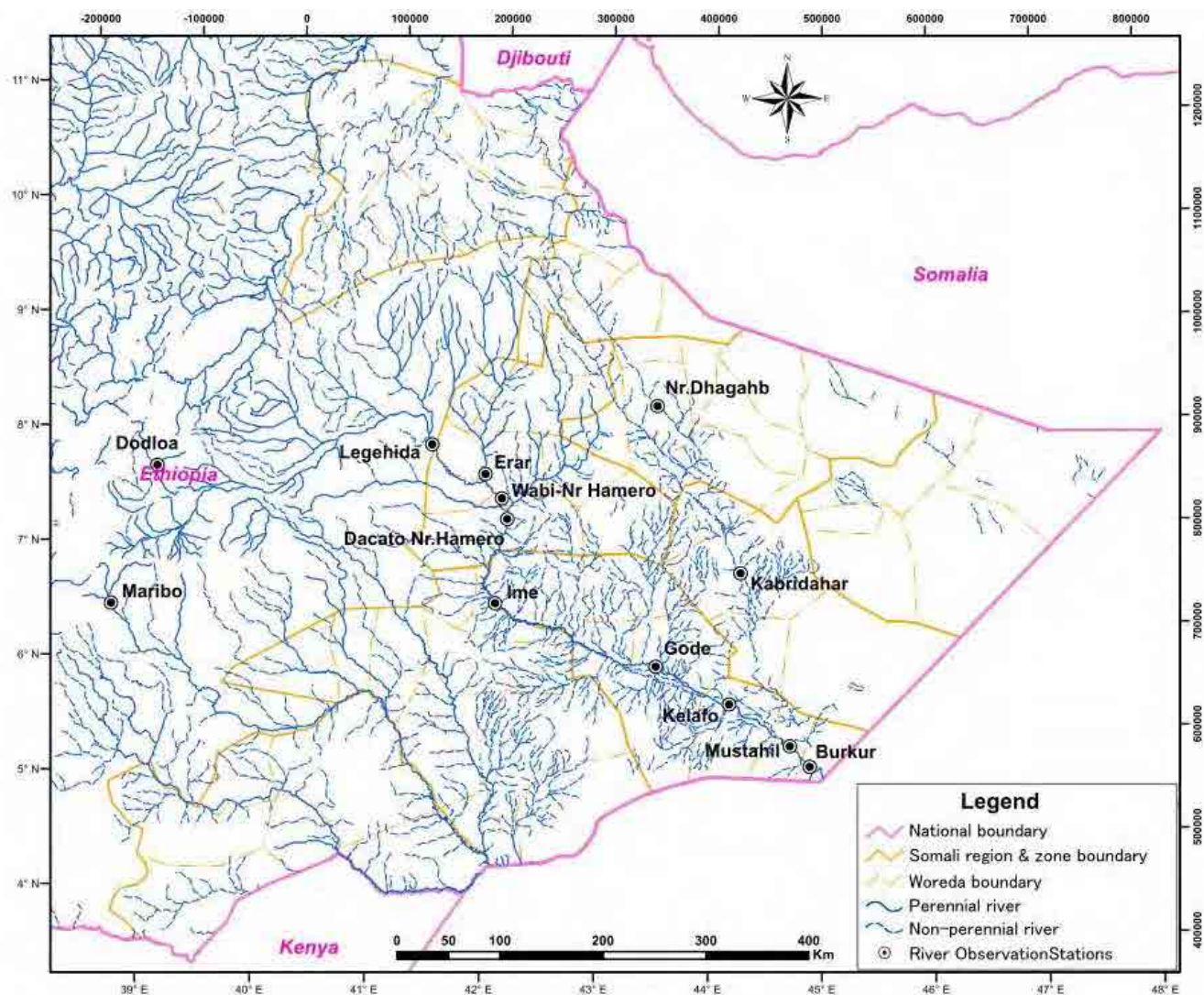


図 2.12: 流量観測所位置図

2.2.2 河川流量

今回調査対象としている地区は、河川流域的にはすべてシェベレ川の流域である。シェベレ川は Bale 高原を源流とし、エチオピア国内の流域面積は約 200,000km² を越える大流域である。Godey 市付近では年間を通して常時流量が有り、恒常河川（perennial river）である。しかし、Wabi Shebele river の左支のジャラル溪谷は比較的高地を流下し、雨期には殆どソマリア国との国境付近で流入している。基本的に雨期あるいは降水時以外は、河川流量が無いワジ（間欠河流 intermittent stream）と呼ばれる川である。

また、ジャラル溪谷を流下する Jarar 川（Degehabour 観測所 流域面積 A=5,184km²）の流況と Wabi Shebele river 本川の Gode 観測所（流域面積 A=127,300km²）の流況を以下の図 2.13から図 2.16に示す。（出典：水資源省水文計測部 Ministry of Water Resources, Hydrology Department (2004)）

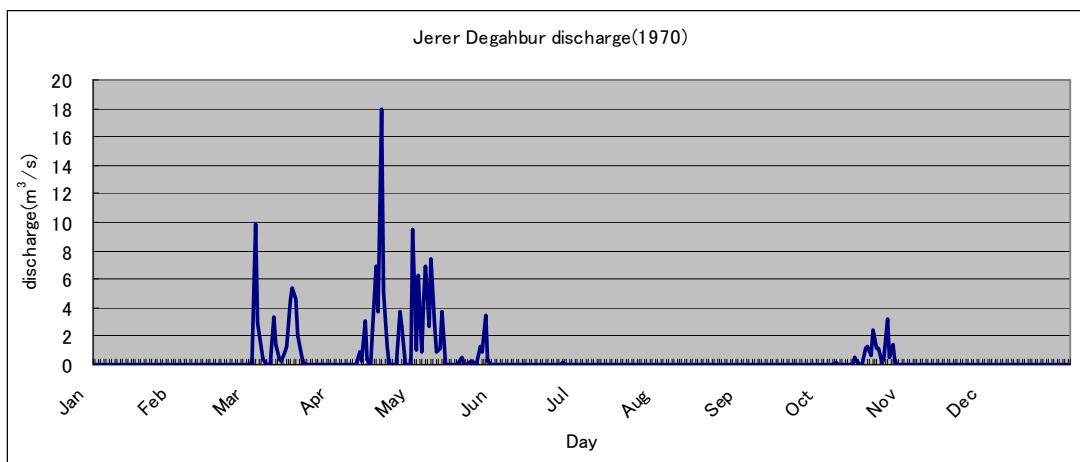


図 2.13: 流況図(Jarar Degahbur)

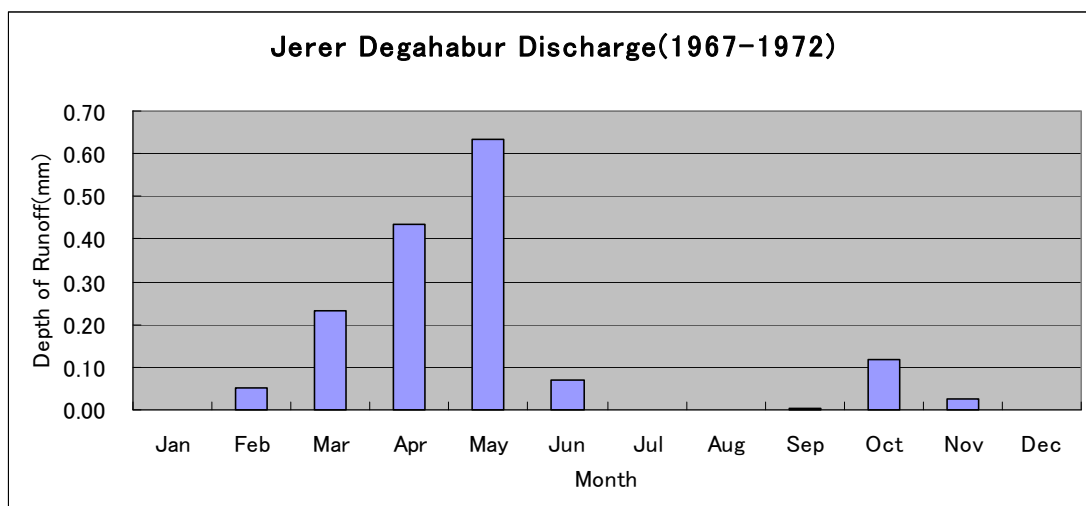


図 2.14: 月別流量(Jarar Degahbur)

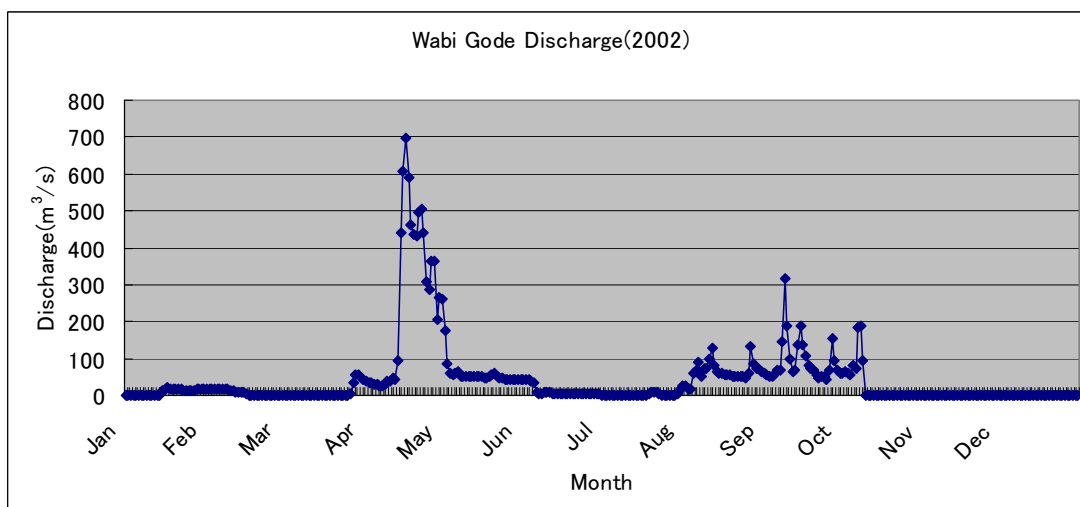


図 2.15: 流況図(Wabi Gode)

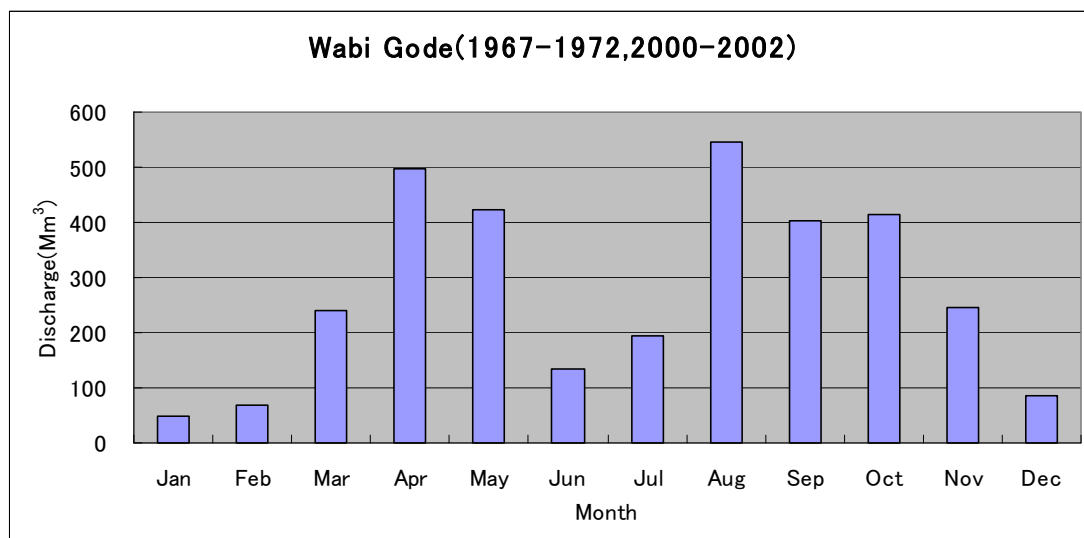


図 2.16: 月別流量(Wabi Gode)

また、これまで収集した各観測所の月別流量割合を表 2.13に示す。この表からも明らかのように、ジャラル溪谷は12月～1月、7月～9月は殆ど流量が無い。

表 2.13: 月別流況表(流出高)

Propotion of Monthly Discharge (Jarar)		Unit:(mm)											
Station Name	Watershed(Km ²)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jerer Degahbur	6,338	0.00	0.05	0.23	0.43	0.64	0.07	0.00	0.00	0.00	0.12	0.02	0.00
Fafen Kebridahr	26,670	0.00	0.00	0.07	0.21	0.47	0.02	0.00	0.00	0.01	0.11	0.04	0.00
Mean	(mm)	0.00	0.03	0.15	0.32	0.55	0.05	0.00	0.00	0.01	0.11	0.03	0.00
	Propotion(%)	0.0	2.1	11.9	25.8	44.3	3.6	0.0	0.0	0.7	9.0	2.6	0.0

Propotion of Monthly Discharge (wabishebele)		Unit:(mm)											
Station Name	Watershed(Km ²)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Wabi MelkaWakena	4,388	3.96	6.14	13.45	20.71	13.81	8.41	25.94	49.94	31.02	15.65	5.57	3.36
Wabi Legehida	20,473	1.11	0.82	13.13	8.91	7.23	4.72	12.89	29.20	16.84	11.27	5.17	1.52
Wabi Hamaro	63,644	0.92	1.78	4.94	6.84	6.28	2.83	4.75	10.54	7.19	3.98	2.26	0.99
Wabi Imi	91,600	0.55	3.01	3.65	3.19	3.59	1.26	3.04	7.38	5.28	3.19	1.49	0.43
Wabi Gode	127,300	0.39	0.54	1.89	3.90	3.33	1.05	1.52	4.28	3.16	3.25	1.93	0.67
Wabi Burker	144,000	0.20	0.32	1.33	1.72	2.57	0.76	1.17	2.56	3.31	2.28	1.26	0.39
Mean	(mm)	1.19	2.10	6.40	7.54	6.14	3.17	8.22	17.32	11.13	6.60	2.94	1.22
	Propotion(%)	1.6	2.8	8.6	10.2	8.3	4.3	11.1	23.4	15.0	8.9	4.0	1.7

出典：水資源省水文計測部 Ministry of Water Resources, Hydrology Department (2004))による観測データの集計

2.3 データ解析

2.3.1 河川流量解析

収集したデータの年流出高(mm)と流域面積(km²)の関係を両対数グラフでプロットしたものの以下の図 2.17に示す。このグラフから、比較的明瞭な流出高と流域面積の相関があり、このグラフを用いてシェベレ川の任意の地点での年間流出量の概算が可能である。また、表 2.13に示す各月別流出高割合を参考に、各月の概算流出量を算出できる。

これらの計算のベースとなるデータは、表 2.14に示すように 1968 年から 1971 年の資料を用いている。

表 2.14: 流域面積と流出高

	Wabi MelkaWakana	Wabi Legehida	Wabi Kelafo	Wabi Imi	Wabi Hamaro	Wabi Gode	Wabi Dodola	Wabi Burker	Maribo Dodola	Maribo confluence
Depth of Runoff(mm)	197.96	112.82	20.87	36.04	53.31	25.92	1893.07	17.84	1062.87	361.15
Watershed Area(km ²)	4,388	20,473	139,100	91,600	63,644	127,300	137	144,000	137	1,039

出典:水資源省水文計測部による 1968-1971 年*のデータ(2012) * 1972 年以降は断続的な欠測、或いはデータが無い。

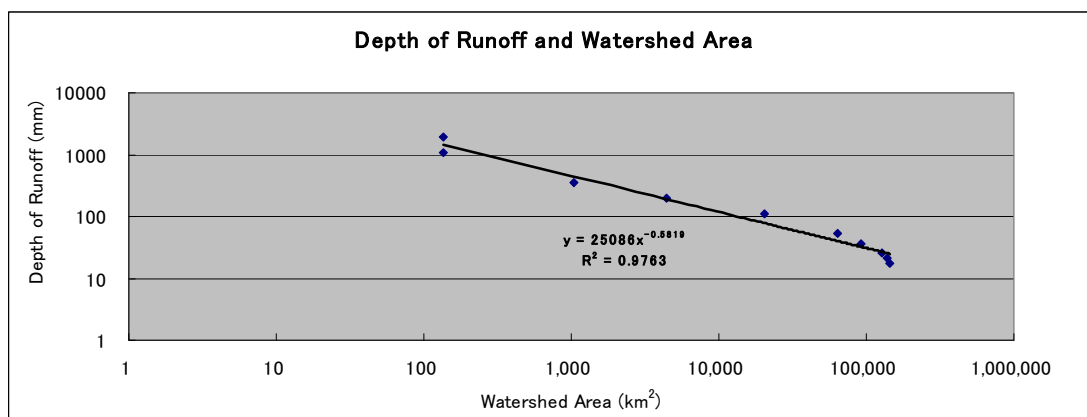


図 2.17: 河川流出高と流域面積との相関図

2.3.2 水収支解析

水収支解析に関しては、今回の調査流域の地下水涵養量を推定し、地下水開発を行うための参考資料とする。地下水開発に関しては量だけでなく水質についても開発のポイントとなるが、ここでは量的な面での相対的な比較を行う。

a. 算術計算

一般に、流域内の水収支は以下の式で表現される。

$$P=D+E+R+\Delta W \quad (R=P-D-E-\Delta W)$$

此処に、P:降水量、D:河川流出量、E:蒸発散量、R:地下水涵養量、 ΔW :その他水資源消耗量である。ただ、水資源消耗量（灌漑用水、生活用水その他）については現状の使用量からみて考慮しなくても問題ない。上記のデータ量が計測されている、気象観測所と河川流量観測所からみて、ジャラル溪谷流域での算術計算を試みた。

a.1 雨量データ (P)

ジャラル溪谷のシェベレ川支川の Fafen 川の Kebridehar(A=25,405km²)及びその上流の Degehabour(A=5,184km²)の 2 流域内の各観測所の月平均雨量の算術平均値を使用した。算術計算に使用した雨量データは以下の表 2.15のとおりである。それぞれの統計期間は、前述の表 2.5に示したように時期のばらつきがある。

表 2.15: 面積雨量に使用する雨量データ

Station Name	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Hadew	16.3	1.9	43.7	128.7	99.9	46.2	85.6	101.6	82.0	47.4	10.8	5.2	669.2
KebriDehar	2.6	0.0	5.5	83.7	53.2	0.7	0.5	0.6	8.9	80.7	31.1	4.0	271.5
Kebribeya	0.0	47.2	38.4	45.7	71.7	27.7	21.2	33.0	45.5	62.6	0.0	8.6	401.6
Degahabur	5.2	1.5	21.6	100.7	92.8	10.0	1.0	2.6	47.9	52.5	10.2	3.2	349.2
Jijiga	12.4	9.9	35.9	113.7	79.0	35.6	66.7	80.7	72.6	40.2	19.9	22.6	589.3
Harishiek	6.4	4.4	22.0	95.3	31.4	41.2	31.4	48.1	44.1	6.9	0.0	0.8	331.8
Mean	7.1	10.8	27.8	94.6	71.3	26.9	34.4	44.4	50.2	48.4	12.0	7.4	435.4

出典: 水資源省水文計測部 Ministry of Water Resources, Hydrology Department (2004)による 1969～1971 年データの集計

a.2 河川流出高 (D)

流量はジャラル溪谷沿いの 2 箇所の観測所の平均年間流量を求め、それを河川流出高 (河川流出量/面積) に換算して用いる。計算結果は、以下の表 2.16のとおりである。

表 2.16: 基準地点別月流出高

Fafen Kebridahr		Watershed area(MoWR) 25,405 Km ²											Unit:cm ³ /s
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1969	0.00	0.00	0.10	0.00	5.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	1.44	0.00	7.20
1970	0.00	0.00	1.85	5.47	4.30	0.04	0.00	0.00	0.30	1.75	0.04	0.00	13.75
1971	0.00	0.00	0.00	1.05	4.32	0.59	0.03	0.00	0.26	1.98	0.12	0.00	8.35
Mean	0.00	0.00	0.65	2.17	4.70	0.21	0.01	0.00	0.19	1.31	0.53	0.00	9.76
Monthly Total	(Mm ³)	0.00	0.00	1.74	5.63	12.58	0.55	0.03	0.00	0.48	3.50	1.38	25.88
	(mm)	0.00	0.00	0.07	0.22	0.50	0.02	0.00	0.00	0.02	0.14	0.05	1.02

Jerer Degahbur		Watershed area(MoWR) 5,184 Km ²											Unit:cm ³ /s
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1969		0.40	0.37	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.18	0.00	1.29
1970	0.00	0.00	1.27	1.94	1.48	0.01	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	5.17
1971	0.00	0.00	0.00	1.24	2.92	0.51	0.00	0.00	0.04	0.14	0.00	0.00	4.84
Mean	0.00	0.13	0.55	1.06	1.50	0.17	0.00	0.00	0.01	0.28	0.06	0.00	3.77
Monthly Total	(Mm ³)	0.00	0.33	1.47	2.75	4.03	0.45	0.00	0.03	0.75	0.15	0.00	9.94
	(mm)	0.00	0.06	0.28	0.53	0.78	0.09	0.00	0.01	0.14	0.03	0.00	1.92

出典: 水資源省 Ministry of Water Resources (2004)による 1969～1971 年データの集計

a.3 蒸発散量 (E)

蒸発散量については、Thornthweit 法で求めた以下の表 2.17の月別可能蒸発散量の推定値を参照して、同じ観測所の月別雨量 (表 2.15) を比較し (統計時期及び期間は異なる)、小さい値をその月の蒸発散量とした(表 2.18参照)。

表 2.17: Thornthwait 法による各地の可能蒸発散量

No.	Station Name	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1	Hadew	63.7	73.9	84.1	79.3	92.1	70.4	64.4	64.9	68.0	70.7	69.5	65.0	865.9
2	KebriDehar	142.2	163.4	191.6	185.2	152.9	138.7	133.2	140.9	140.6	111.1	136.4	139.6	1775.8
3	Gode Met	153.6	160.6	167.5	162.6	157.9	154.5	150.3	152.6	160.6	154.5	148.9	150.3	1873.9
4	Gode Town	114.2	154.9	161.1	153.4	153.4	142.6	149.3	152.8	156.9	140.4	145.7	150.3	1774.9
5	Kebribeya	66.1	78.4	84.8	90.5	90.0	80.4	74.5	78.8	89.1	78.7	80.0	69.2	960.5
6	Degahabur	105.3	119.3	123.5	118.6	120.3	111.9	103.2	116.7	132.8	121.4	112.4	106.5	1392.1
7	Jijiga	56.9	66.6	79.4	87.2	92.1	92.6	88.5	88.2	89.1	73.2	58.9	55.3	928.1
8	Harishiek	52.1	63.2	74.1	70.2	77.1	77.2	66.5	63.7	69.0	59.7	48.4	57.9	779.1

出典: 水資源省 Ministry of Water Resources (2004)による 1969～1971 年データの集計

表 2.18: 蒸発散量として使用した値

Station Name	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Hadew	16.3	1.9	43.7	79.3	92.1	46.2	64.4	64.9	68.0	47.4	10.8	5.2	540.1
KebriDehar	2.6	0.0	5.5	83.7	53.2	0.7	0.5	0.6	8.9	80.7	31.1	4.0	271.5
Kebribeya	0.0	47.2	38.4	45.7	71.7	27.7	21.2	33.0	45.5	62.6	0.0	8.6	401.6
Degahabur	5.2	1.5	21.6	100.7	92.8	10.0	1.0	2.6	47.9	52.5	10.2	3.2	349.2
Jijiga	12.4	9.9	35.9	87.2	79.0	35.6	66.7	80.7	72.6	40.2	19.9	22.6	562.8
Harishiek	6.4	4.4	22.0	70.2	31.4	41.2	31.4	48.1	44.1	6.9	0.0	0.8	306.7
Mean	7.1	10.8	27.8	77.8	70.0	26.9	30.9	38.3	47.8	48.4	12.0	7.4	405.3

出典: 水資源省 Ministry of Water Resources (2004)による 1969～1971 年データの集計

a.4 ティーセン法による算出

ある流域の面積雨量を算出する場合の手法には、算術平均法、ティーセン法、等降水量線法および降水量・高度法などの手法があるが、ほとんどは均一な観測所の配置や均等な配置等が求められ、あるいは高度と降水量の相関が良い場合に利用される手法である。ティーセン法は、観測点が不均等な場合で古くから利用されている手法である。今回の雨量観測地点も流域でみると均等、均一な配置は望めず、また標高と降水量の相関もないことが明らかになっている（図 2.2参照）。そのため今回はティーセン法による解析を試みた。ジャラル溪谷での 2 箇所の流量観測所に関連する流域内に分布する、あるいは近接する気象観測所の降水量が代表する範囲の面積割合に応じて加重平均値を求めた。

ティーセン法による各流域の面積分布を図 2.18に示す。年間平均降水量、蒸発散量および 2 つの流域での河川流出高から、算術計算結果を表 2.19に示した。これによればジャラル溪谷では、上流域のほうが下流域に比べ年間の地下水涵養量は多い。

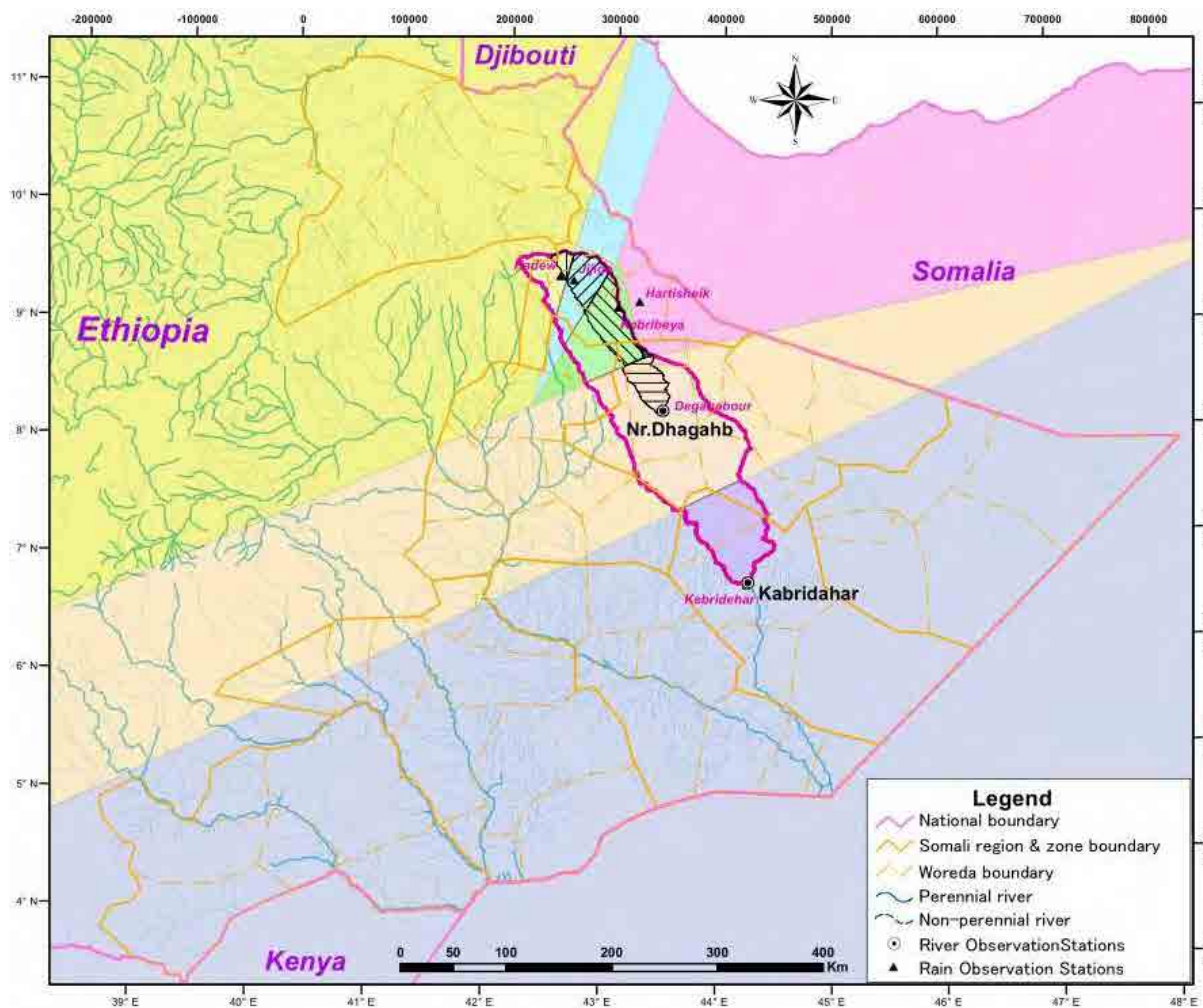


図 2.18: ティーセン法による各流域の面積分布

表 2.19: 算術計算結果

		(A)	(B)	(A)*(B)	(C)	(A)*(C)		
		(km ²)	年平均降水量 (mm)	(mm)	年蒸発散量(mm)	(mm)	河川流出高 (mm)	地下水涵養量 (mm)
Kabridahar	Degahabour	12817	349.2	4,475,696.4	349.2	4,475,696.4		
	Hadew	1568	669.2	1,049,305.6	540.1	846,876.8		
	Hartisheik	48	331.8	15,926.4	306.7	14,721.6		
	Jijiga	2169	589.3	1,278,191.7	562.8	1,220,713.2		
	Kebribeya	3958	401.6	1,589,532.8	401.6	1,589,532.8		
	Kebridehar	4845	271.5	1,315,417.5	271.5	1,315,417.5		
計		25,405		382.8		372.5	1.02	9.3
		(A)	(B)	(A)*(B)	(C)	(A)*(C)		
		(km ²)	年平均降水量 (mm)	(mm)	年蒸発散量(mm)	(mm)	河川流出高 (mm)	地下水涵養量 (mm)
Dhagahb	Degahabour	1329	349.2	464,086.8	349.2	464,086.8		
	Hadew	308	669.2	206,113.6	540.1	166,350.8		
	Hartisheik	48	331.8	15,926.4	306.7	14,721.6		
	Jijiga	1307	589.3	770,215.1	562.8	735,579.6		
	Kebribeya	2192	401.6	880,307.2	401.6	880,307.2		
計		5,184		450.7		436.2	1.92	12.7

b. BFIによる算出

河川流量の地下水流出成分（基底流）の全流量に占める割合を BFI（Base Flow Index）と呼ぶ。河川の流量観測データから雨量による直接流出と基底流出を分離する方法は数多く開発されている。本解析には信頼度が高いと思われる RAP と呼ぶオーストラリアの大学により開発され、公開されているプログラムを採用した。ハイドログラフから 3 種の地下水流出を抽出することにより基底流量成分を計算する。

ここではシェベレ川の上流から下流にかけて、それぞれの地点での実測結果から以下の表 2.20のような BFI の計算結果が得られた。

表 2.20: BFI 計算結果

観測所 (ステーション)	流域面積 (km ²)	対象期間	計算結果 (BFI)
Wabi Legehida	20,473	1970/4/1～1972/1/30	0.425
Wabi Hamaro	63,644	1968/3/1～1971/10/26	0.477
Wabi Imi	91,600	1969/3/1～1971/11/30	0.464
Wabi Gode	127,300	1968/1/1～1971/12/14 2000/12/5～2002/10/9	0.454 0.326

BFI の計算結果と各観測所での流出高（表 2.14参照）から地下水涵養量を算出すると、以下の表 2.21のような結果である。観測所の位置は上流部から下流に位置しており、上流ほど地下水涵養量の値が大きい。

表 2.21: 各観測所の基底流量値(地下水涵養量)

流量観測所	BFI値	流出高	基底流量(地下水涵養量)
		単位 (mm/年)	単位 (mm/年)
Wabi Legehida	0.425	112.82	47.95
Wabi Hamaro	0.477	53.31	25.43
Wabi Ime	0.464	36.04	16.72
Wabi Gode	0.454	25.92	11.77

c. タンクモデルによる検討

調査対象地区の水収支解析に使用したタンクモデルの形状をタンクモデルの構造に示す。このモデル構造は、データの精度等を勘案して比較的単純で解りやすい構造とした(図 2.19)。

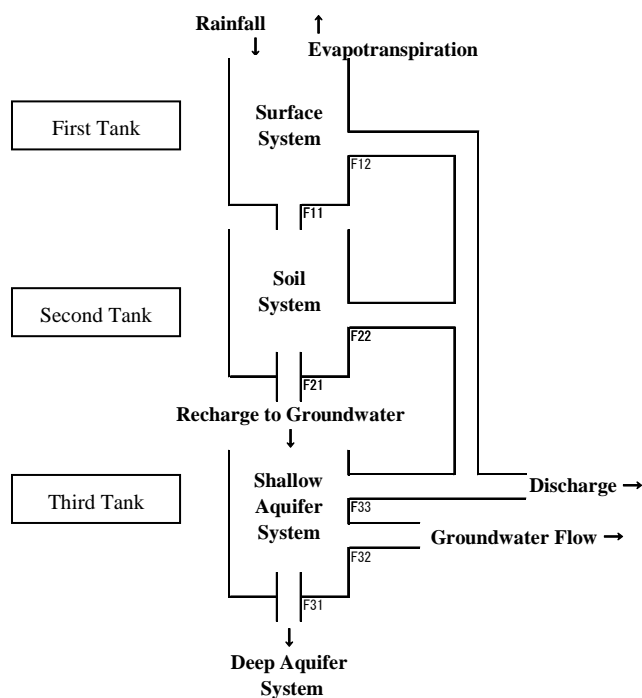


図 2.19: タンクモデルの構造

入力データは、流域面積雨量と可能蒸発散量である。計算は日単位で行い、単位を統一するため、全て mm (ミリメートル) に換算する。雨量および可能蒸発散量は、Gode Met の 1968 年～71 年のデータ（蒸発散量は Thornthwait 法で算出したデータを日量に換算して用いる）を用いた。また、河川流量のデータは、シェベレ川本川の Gode 流量観測所の同時期のデータを用いた。

各タンク係数を入力しながら計算流量と実測流量を比較し、以下の図 2.20を求めた。

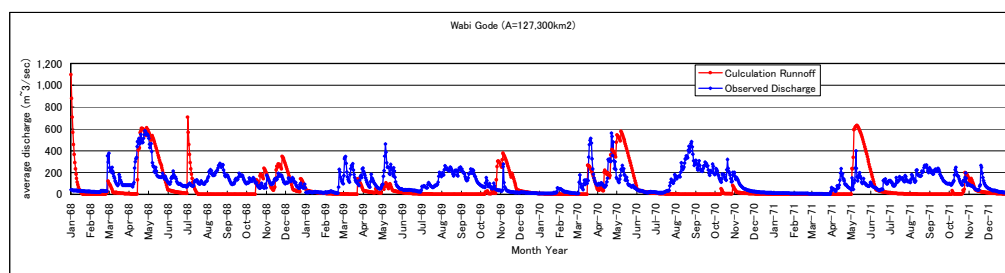


図 2.20: ハイドログラフ

このタンクモデルで水収支を計算すると、表 2.22のようである。

表 2.22: タンクモデルによる計算結果

年	P: 降水量 (mm)	D: 河川流出高 (mm)	E: 蒸発散量 (mm)	R: 地下水涵養量 (mm)
1968	681.4	28.0	642.9	12.8
1969	402.4	8.7	397.5	3.2
1970	475.9	15.5	452.3	9.1
1971	357.2	12.9	337.7	7.4

2.3.3 地下水涵養量の比較

Wabi Shebele 川ベーズンの中をシェベレ川サブベーズンとジャラル溪谷サブベーズンで比較すると、地下水涵養量は次のように推定される。

- ジャラル溪谷サブベーズンにおいてティーセン法を用いて求めた面積雨量、蒸発散量および河川流出高の比較から、この溪谷においては上流域のほうが下流域に比べ地下水涵養量の値が高い（上流: Degahabur; 12.7mm、下流: Kebridahar; 9.3mm）。
- シェベレ川流域の上流から下流にかけて（Wabi Legehida から Wabi Gode までの4観測所）基底流量係数（BFI）を求めて、それぞれの観測所の実測流出高から地下水涵養量を計算したが、上流域から下流域にかけて地下水涵養量が低下する（47.95mm から 11.77mm）。
- 参考として Godey 流量観測所の値と計算値をタンクモデルを利用して比較したが、その時の地下水涵養量の計算値は、BFI 値を用いた Godey 観測所の場所での計算結果と 1969 年を除いて概ね近似した値となっている。
- 一般的にそれぞれの河川流域では、上流域のほうが、雨量が多く、蒸発散量が少ないため、上記の結果は概ね妥当な結果といえる。平均年間雨量が概ね 220mm～570mm の地域での地下水涵養量が 9.3mm～47.95mm という値を得ているがこれに対する絶対的な評価は難しい。アフリカ地域での塩化物マスバランス法による年間降水量 434mm の地域で 15mm～54mm の地下水涵養量が求められている事例もある（Bridget R Scanlon, et all, 2006）。

3. 地質

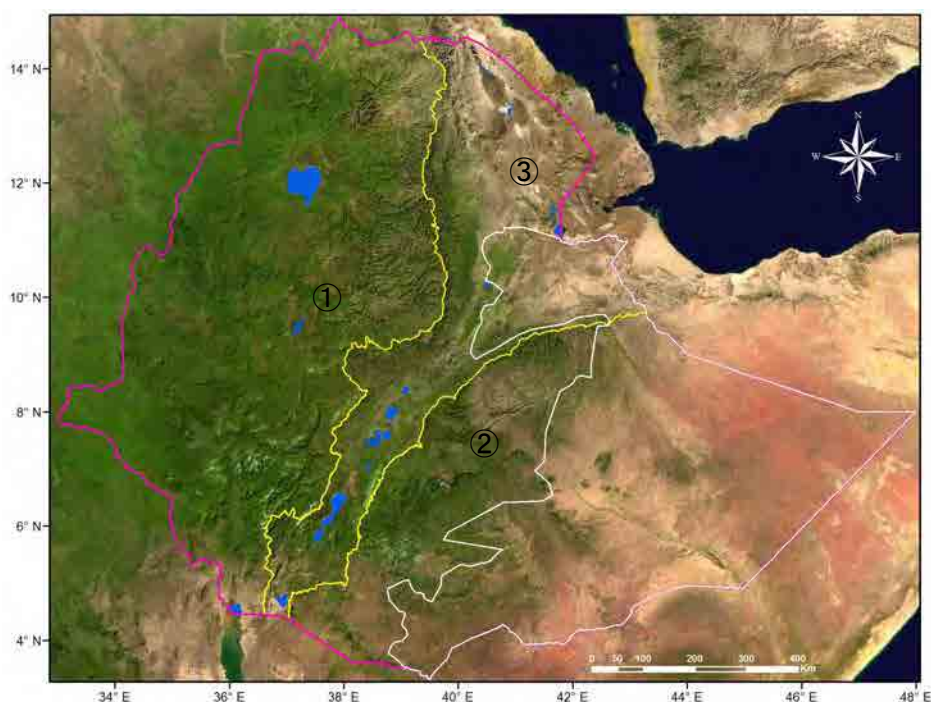
3 地質

3.1 ソマリ州の地質概要

3.1.1 地勢と自然地理

a. 地勢

エチオピア国は、1,127,000km²の面積を有する内陸国で、3つの地形区、すなわち①北西部の卓状地、②南東部の卓状地、③両者を隔てるリフトバレー、に区分される²⁰⁾。国内の標高は、海拔-125m (Denakil 凹地: Afar 凹地の北端部) から 4,620m (Ras Dashen Terara) まで変化に富んでいる (図 3.1参照)。



(①北西部卓上地、②南東部卓上地、③リフトバレー)

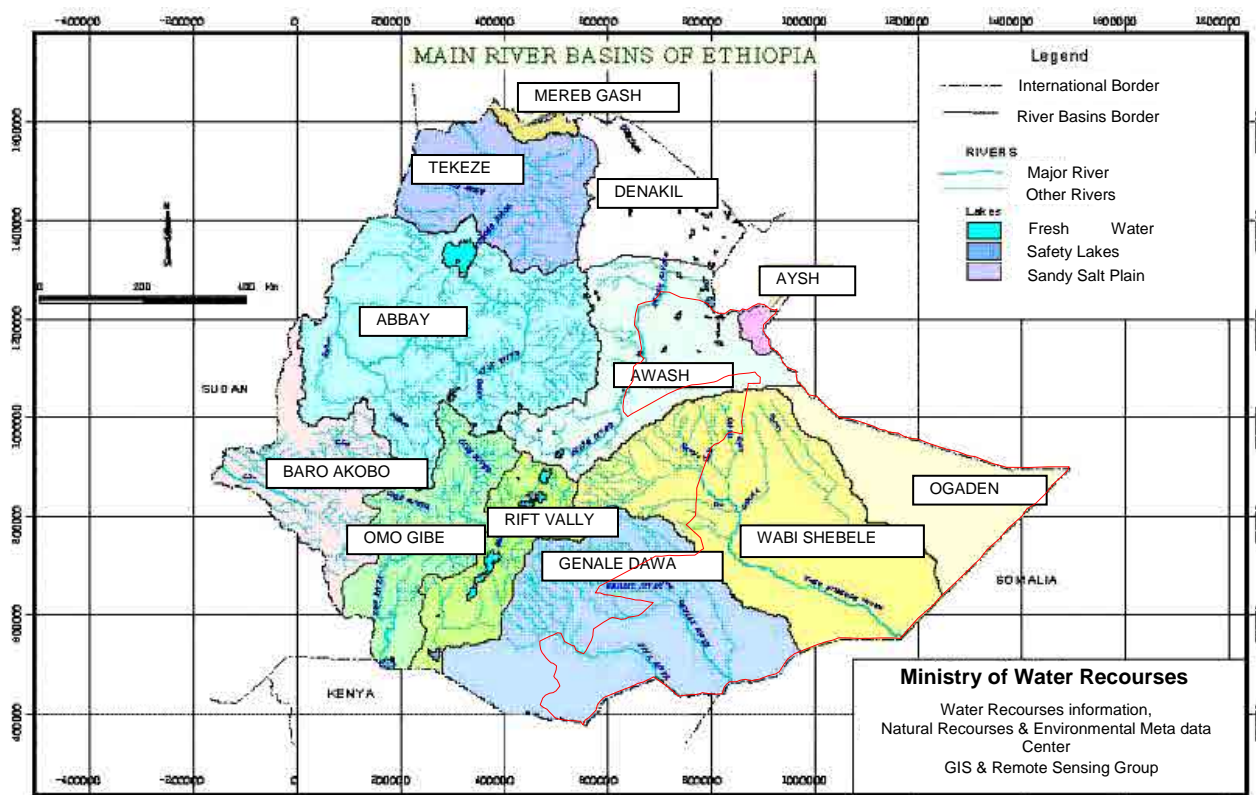
図 3.1: エチオピア国の地形区分²⁰⁾

ソマリ州はエチオピア国を構成する 9 州 2 自治区の 1 つの州であり、国の南東部を占めている。州の東部、北部、南部は、それぞれジブチ国、ソマリア国、ケニア国と国境を接し、北西部及び西部がアフール州、オロミア州と接する面積 363,300 km²のエチオピア国で最大の面積を有する州である。ソマリ州は、東経 38.758884°-47.986780°、北緯 3.393054°-11.226088°に位置し、海拔 2,000m から 210m まで標高が変化する。

b. 流域区分

エチオピア国には 12 の流域があり、これらはさらに支流域に細分されている (MoWR による区分、図 3.2参照)。ソマリ州はリフトバレーの南東部に位置し、大局的には標高

は南東方向に向かって低下していく。このような現在の地形は、地層の傾斜の影響を密に受けて形成されている。このような大地形の中で、地形の起伏及び水系から、ソマリ州は5つの流域に区分されている。



出典：Ministry of Water and Energy

図 3.2: エチオピア国の流域区分

ソマリ州の5つの流域は以下のとおりである。

- a) Wabi Shebele 流域
- b) Ogaden 流域
- c) Genale – Dawa 流域
- d) Awash 流域
- e) Aysha 流域

- Wabi Shebele 流域は、Fafem – Jara 支流域（ジャラル渓谷）等の支流域から成る。流域は州内最大で、流域内はシェベレ川に向かって傾斜し、標高は海拔2,000m から 200m である¹⁸⁾。Wabi Shebele 流域の全流域面積は 193,670 km² あり、その内の約 70% (136,050 km²) をソマリ州が占めている¹⁸⁾。
- 州 2 番目の流域は Ogaden 流域であり、Jijiga 県の一部、Dagahbur の一部、Warder 県のがほとんどが本流域に含まれる¹⁸⁾。本流域内の傾斜は緩く、平坦地であることが特徴的である。水系はソマリア国の方向に流下し、遠路インド洋まで到達する¹⁸⁾。

- 州 3 番目の流域は Genale – Dawa 流域であり、3 つの主要な河川から成る。流域は南方に傾斜し、流域内の標高は海拔 1,600m から 150m である¹⁸⁾。
- Awash 流域は、リフトバレー内を Awash 川が南西から北東に流下する流域であり、ソマリ州はその北東部に位置する。ソマリ州においては、本流域は Shinile 県全域を含む Amhara 台地の西側を占めている¹⁸⁾。
- 流域面積が 2,223km² の Aysha 流域では季節河川が流下し、ほとんどの期間で枯渇した状況になっている²⁾と考えられている。

c. 地形構造

対象地域（ジャラル渓谷及びシェベレ川支流）の地形は、①図 3.3に示すような地層の傾斜に支配された地形と、②図 3.4に示すような緩やかな背斜構造、の複合体から成る。

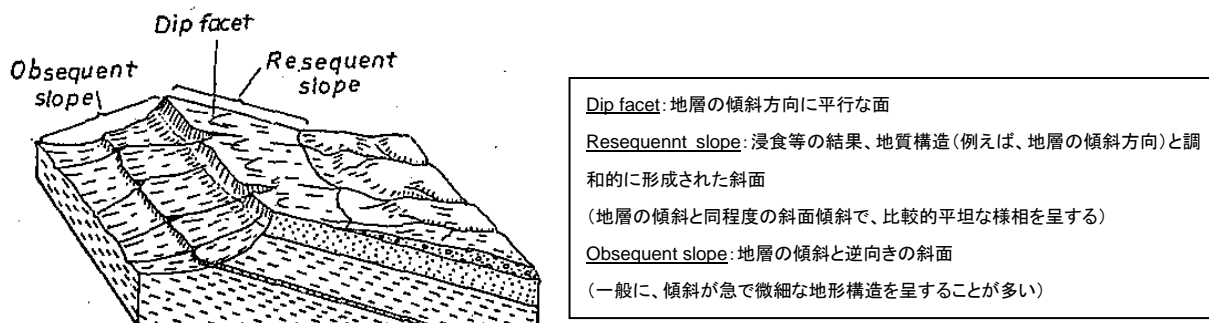


図 3.3: 地形の走向・傾斜と地形の関係¹⁵⁾

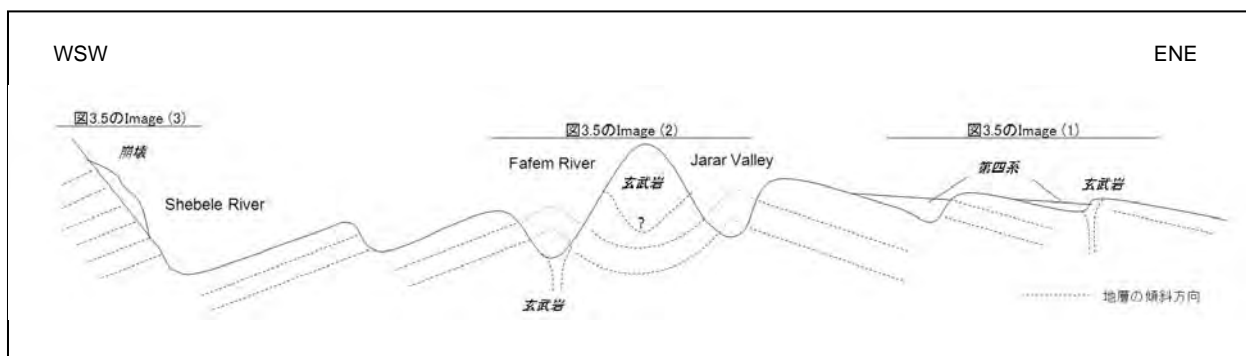


図 3.4: ジャラル渓谷及びシェベレ川支流の模式地形構造

対象地域の地形は、大局的には南東方向に傾斜している。その一方で、Fafem – Jarar 地域に北北西 – 南南東方向の背斜軸を持つ背斜構造も認められる。左岸側（東側）では、地形断面は東側に緩やかに傾斜する。しかしながら、この傾斜は一様ではなく、図 3.4 に示すように一種の階段状に傾斜している。個々の単元は西向きの急傾斜面と東向きの緩傾斜面より成っている（傾動地塊）。一方、右岸側は逆方向の傾斜を示し、西側に緩く傾斜する。左岸側と同様に階段状の構造を示すが、傾斜の度合いは逆で東向きの急傾斜面と西向きの緩傾斜面より成っている。

このような構造を呈するためにジャラル渓谷の左岸側（東側）では西向き斜面の末端

に小規模な崩壊・崖錐が発達し、右岸側（西側）では東向き斜面の末端に小規模な崩壊・崖錐が発達する（図 3.5の Image(1)）。シェベレ川の右岸側斜面では特に小規模から中規模な崩壊が激しく（図 3.5の Image(3)）、シェベレ川の水質悪化（高濁度）の要因の一つになっている。

ジャラル渓谷左岸側の巨視的な傾斜方向は東向きであるが、その傾斜角は極めて緩いため、表層の未固結土砂はより低地のジャラル渓谷方向に移動しているものと推定される。一方、Fafam 川右岸側の未固結土砂は、地形の傾斜方向と同様に西側（シェベレ川の方）に移動しているものと考えられる。

また、この背斜構造が発達する Fafem - Jarar 地域（図 3.5の Image(2)）や左岸側の撓曲崖付近（図 3.5の Image(1)）には、その軸部に沿って、北北東 - 南南西方向の玄武岩の分布が見られる。

上記の構造の他に、図 3.6に示すような東北東 - 南西南方向の地質構造（断層と推定されるリニアメント）に支配された地形構造も推定される。

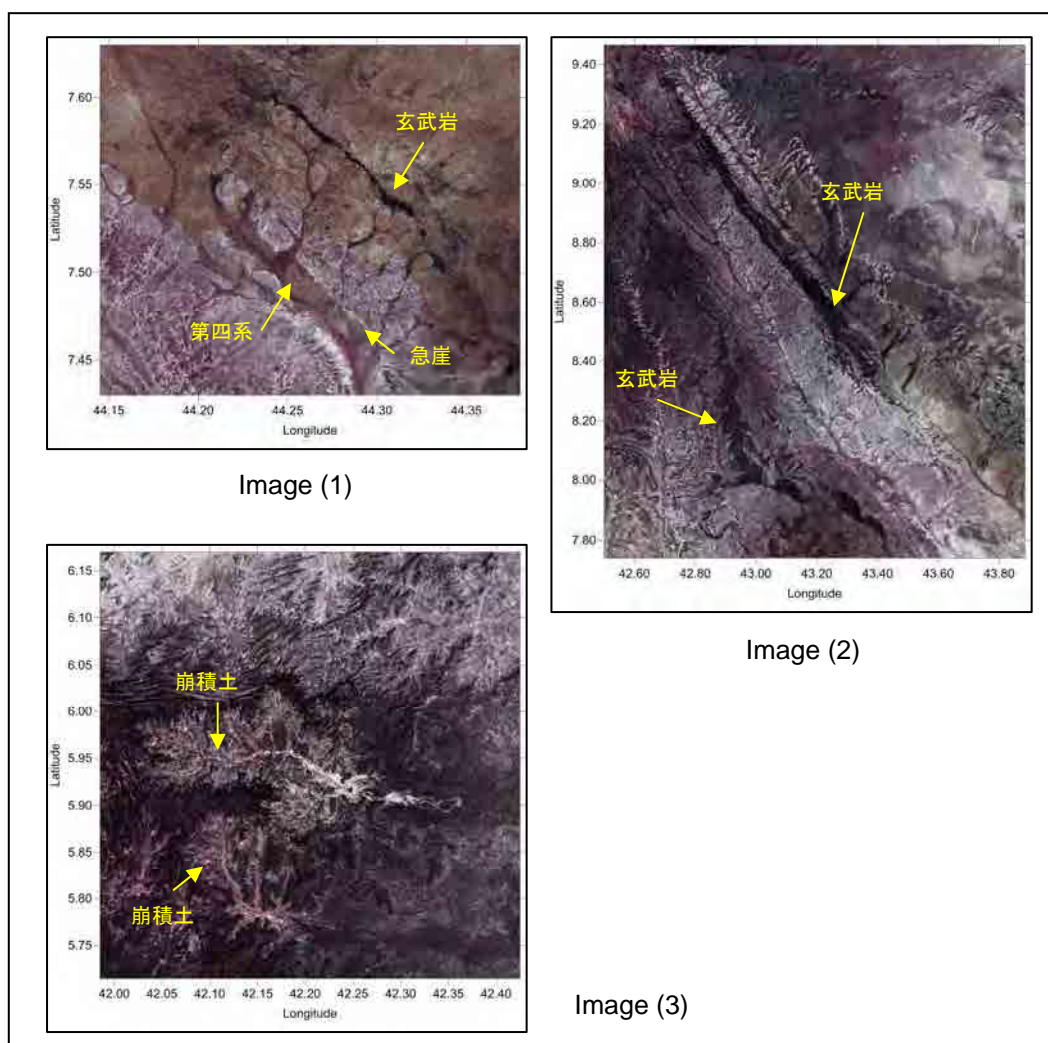


図 3.5: ジャラル渓谷及びシェベレ川支流域で特徴的な地形を示すランドサット画像



（黄色点線：リニアメント）

図 3.6: 東北東－南西南方向の断層と推定される地質構造

3.1.2 エチオピア国の地質概要

エチオピア国の地質は、アフリカ大陸の基盤をなす結晶質な岩石類（基盤岩類）、東アフリカのリフトバレーの活動に関連する火山岩類、種々の時代の堆積岩類等から成り立っている⁵⁾（図 3.7参照）。

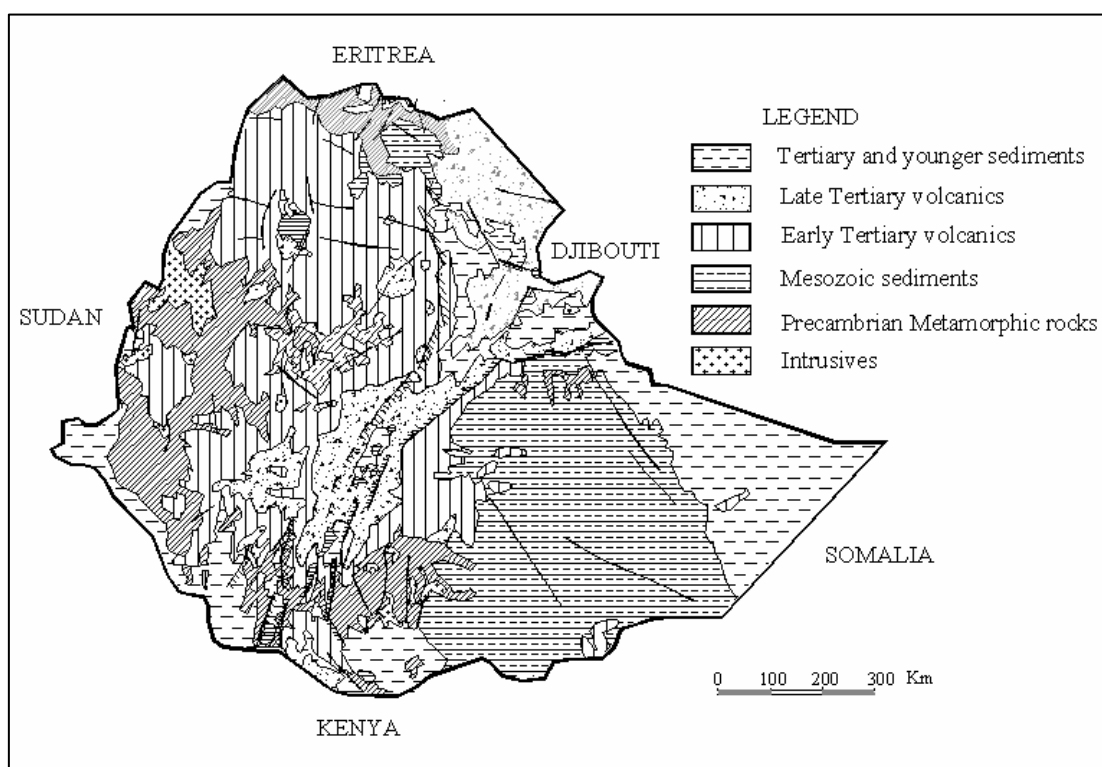


図 3.7: エチオピア国の地質概略図²⁰⁾

基盤岩類は、①北方のティグライ州、②スーダン国との国境に沿った地域、③南方のオロミア州、④東方のソマリ州、の4つの地域に分布する⁵⁾。この基盤岩類は、花崗岩、

花崗閃緑岩、斑レイ岩、片麻岩、ミグマタイト、グラニュライト、角閃岩、片岩、千枚岩などから構成される²⁰⁾。

リフトバレー域内とそれを取り囲む周辺地域には、リフトバレーを形成する活動に関連する火山岩類（主として第三紀とそれ以降の溶岩及び火山灰類）の分布が顕著である⁵⁾。リフトバレーの南部地域においては、火山岩類は、火山灰や軽石に富んだ珪酸を多く含む酸性岩が卓越する⁵⁾。一方、アファール地域やリフトバレーを取り囲む卓状地縁辺においては鉄分やマンガンに富んだ玄武岩質の岩石が卓越する⁵⁾。これらの地域の火山岩類は、度々、堆積岩類と互層している⁵⁾。地溝活動と火山活動の時期には、“Afar Depression”を形成する北方の断層運動も生じている^{21) in 5)}。

北方の一部地域と同様に南東部の低地には、種々の時代の堆積岩類が分布する⁵⁾。分布域の多くは、地溝活動に関連する造構運動の結果である低地部のデプレッション（例えば“Danakil Depression”）が占めている⁵⁾。堆積物の主体は、砂岩、石灰岩、シルト等の混合体であるが、岩塩、石膏（カルシウム－硫酸塩鉱物）、カリウム塩、マグネシウム塩などの蒸発岩類が産出する頻度も高い⁵⁾。

3.2 地域地質

3.2.1 既存の研究とマッピング

本対象地域及びその周辺地域を含む主要な既存地質図として、以下のものが挙げられる。

- ① Geological Map of Ethiopia, 1:2,000,000 (Kazmin, 1972; Tefera et al., 1996)^{8), 21)}
- ② Geological Map of the Wabi Shebelle basin, 1:1,000,000 and Geological Map of Ogaden, 1:250,000 (Ethiopia-France cooperation Program, Wabi Shebelle Survey, 1972)¹⁴⁾
- ③ Geological Map of Ethiopia and Somalia, 1:2,000,000 (Merla et al., 1973)^{11), 12)}
- ④ Geological Map of the Ogaden and surrounding Area 1:1,000,000 (BEICIP, 1985)³⁾
- ⑤ Geological Map of Harar Area (NC38-9) (Yihune and Haro, 2010) and Geology of Harar Area (Haro, 2010)^{26), 10)}
- ⑥ Geological Map, 1:250,000, Project: Improving Water Resources Management and Information in Somali Region (UNESCO, 2012)²²⁾

また、上記①から⑤の地質図類に関しては、以下の報告書等で検討・評価が行なわれており、本調査の地質（地質層序、層相）の記載は、これら既存の地質図や報告書等に依っている。

- Wabi Shebele River Basin Integrated Development Master Plan Study Project, Phase II – Data Collection, Site Investigation, Survey & Analysis, Section II Sectoral Studies, Volume I – Natural Resources, Part 1- Geology, Final Report (WWDSE, 2004)²⁵⁾

- Hydrogeological Mapping Project Report (SHAAC, 2009) ¹⁶⁾
- Fafem - Jerer Sub Basins and the Adjacent Eastern Areas Groundwater Potential Assessment and Supervision of Test and Pilot Production Wells Drilling Project, Inception Report (Ministry of Agriculture, 2012) ²³⁾

以下では、既存地質図（上記の①、④、⑤）に関する既存報告書の検討・評価結果を再掲することにより、既存地質図の概要を記す。

a. Geological Map of Ethiopia (Kazmin, 1972; Tefera et al. 1996) ^{8), 21)}

- 最初 Kazmin (1972) により編集され、Tefera et al. (1996) により改訂されたエチオピア国地質図（縮尺 1:2,000,000）は、エチオピア国内の地質分布の概要や地質構造を把握する上で、優れた参考資料となるものである。広範な地域が空中写真や衛星画像の判読により解析された後、エチオピア地質調査所（Geological Surveys of Ethiopia (GSE)）による最新の地質図幅を基に修正・更新されたものであり、その調査結果は極めて重要なものである。本図幅で、先カンブリア時代の基盤岩類と後期古生代と中生代の堆積岩類、新生代の火山岩類と堆積岩類を含む顕生代の被覆岩類の分類を行なっている ²³⁾。
- エチオピア国の南東部は主に中生代と第三紀の堆積岩により覆われ、Ogaden 堆積盆の北東及び南西縁辺に第三紀の火山岩類や先カンブリア時代の基盤岩類が散在する形で分布する ²³⁾。
- Fafem- Jarar 地域とその東側周辺地域は、主に中世代から第三紀の堆積岩類によって被覆されており、変成作用を受けた基盤岩類が僅かに分布する。Ministry of Agriculture (2012) のプロジェクト（FJAE¹プロジェクト）対象地域には、Adigrat 砂岩層、Hamanlei 層の石灰岩及び頁岩、Urandab 層の泥灰岩及び頁岩質石灰岩等の中生代堆積岩類、第三紀火山岩類、第四紀層等が主として分布する。さらに、先カンブリア時代の基盤岩類（黒雲母－角閃石片麻岩、準片麻岩を伴うグラニュライト及びミグマタイトから成る始生代の Alghe 層群）が Fafem 峡谷の北西部に限定的に認められる。ジャラル地域の広範囲な地域が Jessoma 砂岩層で覆われ、後期暁新世から前期始新世の Auradu 石灰岩層が小規模に分布する ²³⁾。

b. Geological Map of the Ogaden and surrounding Area (BEICIP, 1985) ³⁾

- BEICIP (1985) による Ogaden とその周辺の地質図（縮尺 1:1,000,000）は、エチオピア国の南東部－南緯 8°の南側及び東経 40°の東側（Ogaden 堆積盆地、ケニア国の北東部先端、ソマリア国北部－中央部を含む）－を対象にしている。従って、FJAE プロジェクトの南部のみがこの図幅の範囲に入っており、地質

¹ FJAE: Fefem – Jerer Sub Basins and the Adjacent Eastern Areas Groundwater Potential Assessment and Supervision of Test and Pilot Wells Drilling Project

図面上には Hamanlei 層上部の生砕屑石灰岩、Urandab 層の泥灰岩及び頁岩質石灰岩、Kabridahar 層下部の石灰岩及び頁岩質石灰岩、Jessoma 砂岩層が分布する。しかしながら、これらの地質単元の分布範囲は推定でしかなく、さらなる調査によって地質図の更新が必要とされている。²³⁾

c. **Geological Map of Harar Area (Yihune and Haro, 2010)²⁶⁾ and Geology of Harar Area (Haro, 2010)⁷⁾**

- FJAE プロジェクト北西部を Harar 図幅（東経 42° 00' から 43° 30'、北緯 9° 00' から 10° 00' の範囲）がカバーする。地質図幅説明書（Haro, 2010）と地質図（Yihune and Haro, 2010）から成る縮尺 1:250,000 の Harar 図幅は、近年公表されたものである。強変成及び弱変成の先カンブリア時代の基盤岩類、中生代の堆積岩類、第三紀の火山岩類、第四紀の堆積物から成る様々な種類の地層が図幅上に示されており、これら全ての地層が Fafem 及びジャラル溪谷とその東方地域に分布している。²³⁾
- 先カンブリア時代の基盤岩類は、Fafem 溪谷上流域や Jijiga の北方地域において顕生代の堆積層中にポケット状に露出する。また、Daketa 峡谷、Tinishu Erer 峡谷、Erer 峡谷、Hamaressa 峡谷にも、基盤岩類が分布する。基盤岩類は、始生代から原生代の岩石と報告されており、斑レイ岩とグラニュライトの複合岩体、角閃石片麻岩、角閃石－黒雲母または黒雲母－角閃石片麻岩、黒雲母片麻岩、石英質－長石質片麻岩、大理石、カルクーケイ酸塩、角閃岩、花崗岩質正片麻岩を含んでいる。^{7) in 23)}
- 顕生代（後期古生代と中生代）の堆積岩類は砂岩（Adigrat 砂岩層）、下部石灰岩、上部石灰岩、上部砂岩、石灰岩砂岩互層等から成り、先カンブリア時代の基盤岩類を不整合で覆う。中生代の堆積岩類は、北東部の Wabi-Shebele 流域、北西部の Ogaden 流域と Awash 流域を隔てる山地沿い、Hamaressa 峡谷・Erer 峡谷・Daketa 峡谷・Fafem 峡谷・ジャラル溪谷を隔てる尾根部に広く露出する。第三紀－第四紀火山岩類は、Karamara 山地とその伸長部、Ejersa Goro 近傍の Aybera 山地、Kundudo 山地、Serita 山地、Awash 流域の地溝縁辺に散在する。FJAE プロジェクトの相当量の地域が本図幅中に含まれ、その南東域には、石灰岩上に発達する第四紀の風化残留物、第四紀カルクリートの分布が示されている。これらは、硬化した二次的石灰岩または二次的な礫岩と考えられている。また一方、過去の調査^{eg 8), 21), 11), 12)}とは異なり、本図幅ではジャラル溪谷の東側に Jessoma 砂岩層が分布していない。²³⁾

3.2.2 対象地域の地質概要

本調査地域に分布する地層の分類は、既存の報告書や地質図に従うものとする。既存調査によると、ソマリ州には先カンブリア時代から第四紀までの地層が分布する（図 3.8）。最も古い地層は、先カンブリア時代の結晶質岩であり、花崗岩、花崗岩質片麻岩、角閃

岩、閃緑岩などから成る。これらの基盤岩類は中生代の堆積物に覆われ、中生代の堆積物は第三紀から第四紀の火山岩類や沖積層に覆われている。

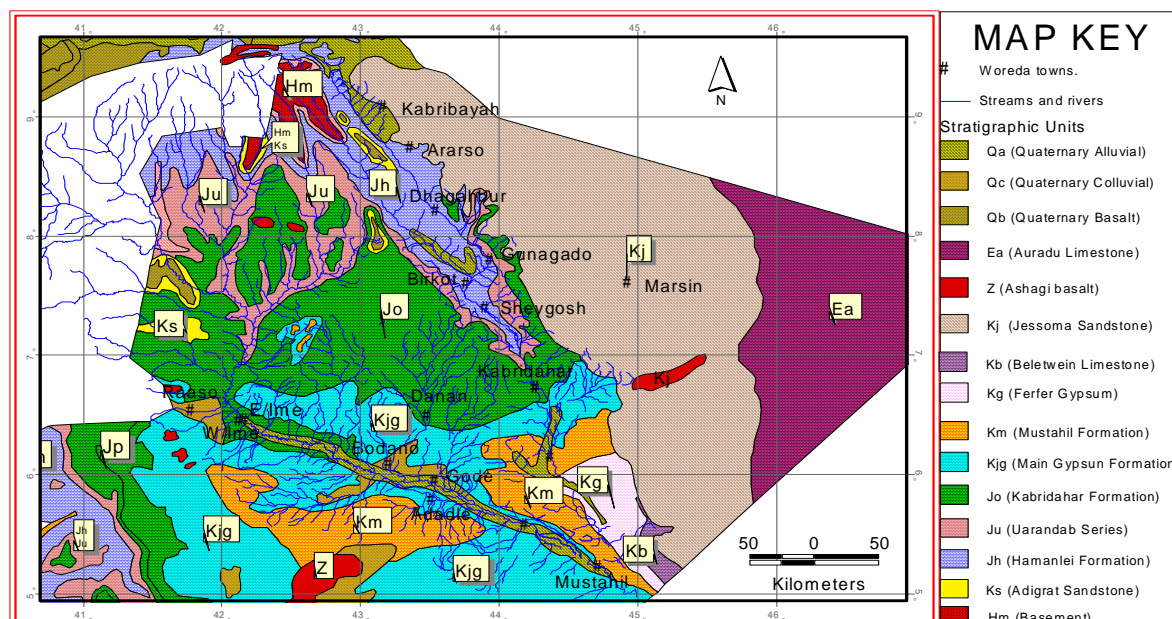


図 3.8: 対象地域の概略地質図 (SHAAC, 2012)¹⁸⁾

3.2.3 衛星画像解析

a. サブベースン内の地形区分

地形区分の対象地域は、Wabi Shebele 流域の一部から成る。Wabi Shebele 流域は、図 3.9 に示すようにジャラル峡谷やシェベレ川支流域のような比較的小さな流域に細分されている。

本調査では、目視による画像判読による地形区分解析を、以下のデータを使用して実施した。

- SRTM3 及び SRTM30 (SRTM : Shuttle Radar Topography Mission)
- Landsat ETM+画像 (撮影日は図 3.10に示す)
- PALSAR データ (撮影日 : 2010/6/15 – 2010/7/26)

この解析では、図 3.11及び図 3.12に示すような画像の①色調、②肌合い、③対象の形、④対象の大きさ、⑤水系・侵食・土壌・植生・土地利用のパターン等を基に地形を分類し、地形区分図を作成した。

一方で、上記の既存地質図をとりまとめて、地質単元を整理した。その地質単元分布と衛星画像判読により作成した地形区分図とを対比することにより、地形・地質区分図を作成した。また、後述する既存井戸データの整理（特に累層レベルの地質区分整理）を行なって地質断面図を作成するとともに、リニアメント判読結果と比較することにより、対象地域の地質構造を考察した。その結果により、地形・地質区分図を再解析して

地質図を完成させた。

なお、①類似する地形パターンを有する地質単元が隣接する地域や、②縮尺 1:250,000 で表現できない複雑な分布を示す地域においては、衛星画像の判読精度の限界²から二つの地質単元を一つにまとめた分類とした。



図 3.9: 地形区分の対象地域 (ジャラル峡谷及びシェベレ川支流)

Path	167	166				
52	01_03_20	00_05_13				
			165	164	163	
53	01_02_16	00_05_13	01_04_07	99_09_18	01_05_27	
						162
54	00_11_28	00_12_23	01_09_14	00_05_15	00_02_02	01_11_12
55	00_11_28	01_01_24	01_11_17	99_11_21	01_11_13	01_11_12
56	00_11_28	01_01_24	01_11_17	99_11_21	00_07_27	01_11_12
57	00_11_28	01_01_24	01_11_17	99_11_21	02_01_06	00_09_22
58	00_12_14	00_12_07	00_01_15	02_04_03		
Row						

YY_MM_DD

図 3.10: 使用したランドサット画像の撮影日

² 現地踏査を伴わない画像判読の限界から、地質単元の境界が判読できない場合には、二つの地質単元が混在する地質単元を設定した。これは安全上の問題で現地踏査ができず、地質境界が確定できない、衛星画像による地質図作成の限界である。

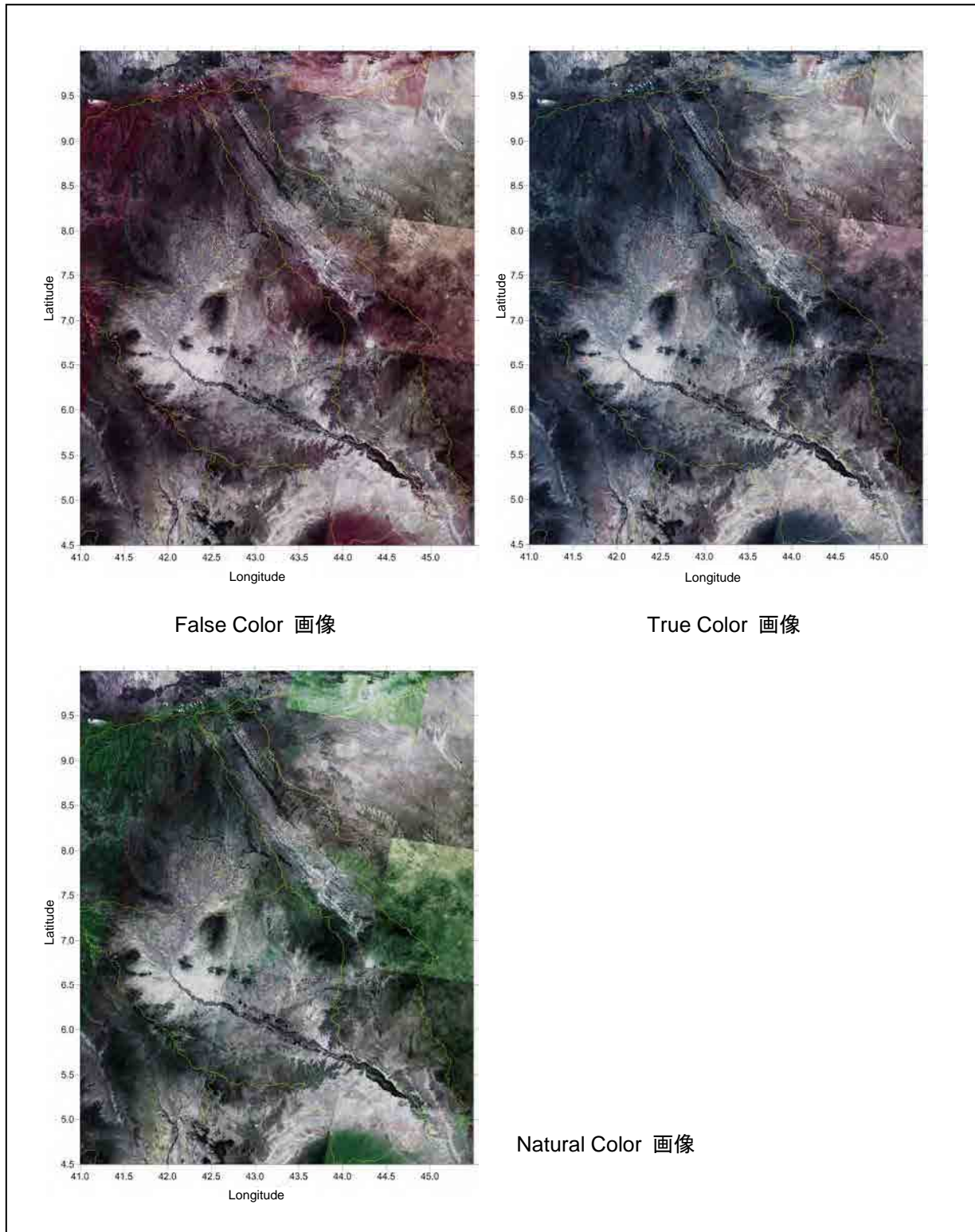


図 3.11: ランドサット画像

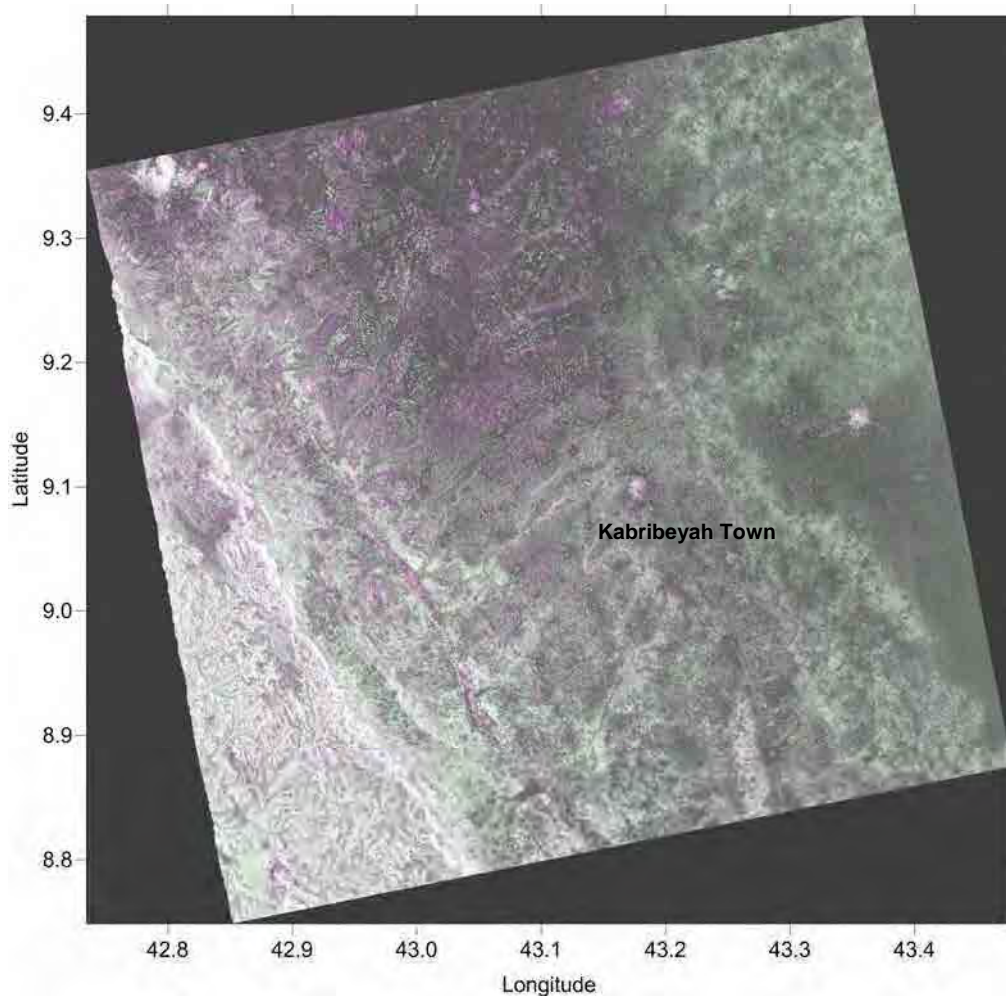


図 3.12: PALSAR 画像の例

（中心点：東経43.0969、北緯9.1201）

b. リニアメント解析

前項で示した画像データを用いて、目視解析によりリニアメント判読を行ない、直線谷、直線崖、直線上に配列する屈曲谷、屈曲尾根、鞍部、孤立丘、段差地形や土壌や植生のトーンや色調の直線的境界等を抽出した。ニアメント判読結果は、地形区分結果とともに、既存地質図等と比較して、①一般的な線状構造と、②断層を表していると推定される線状構造に区分した（図 3.13及び図 3.14参照）

なお、デジタル手法によるリニアメント解析の結果は第7章に記している。

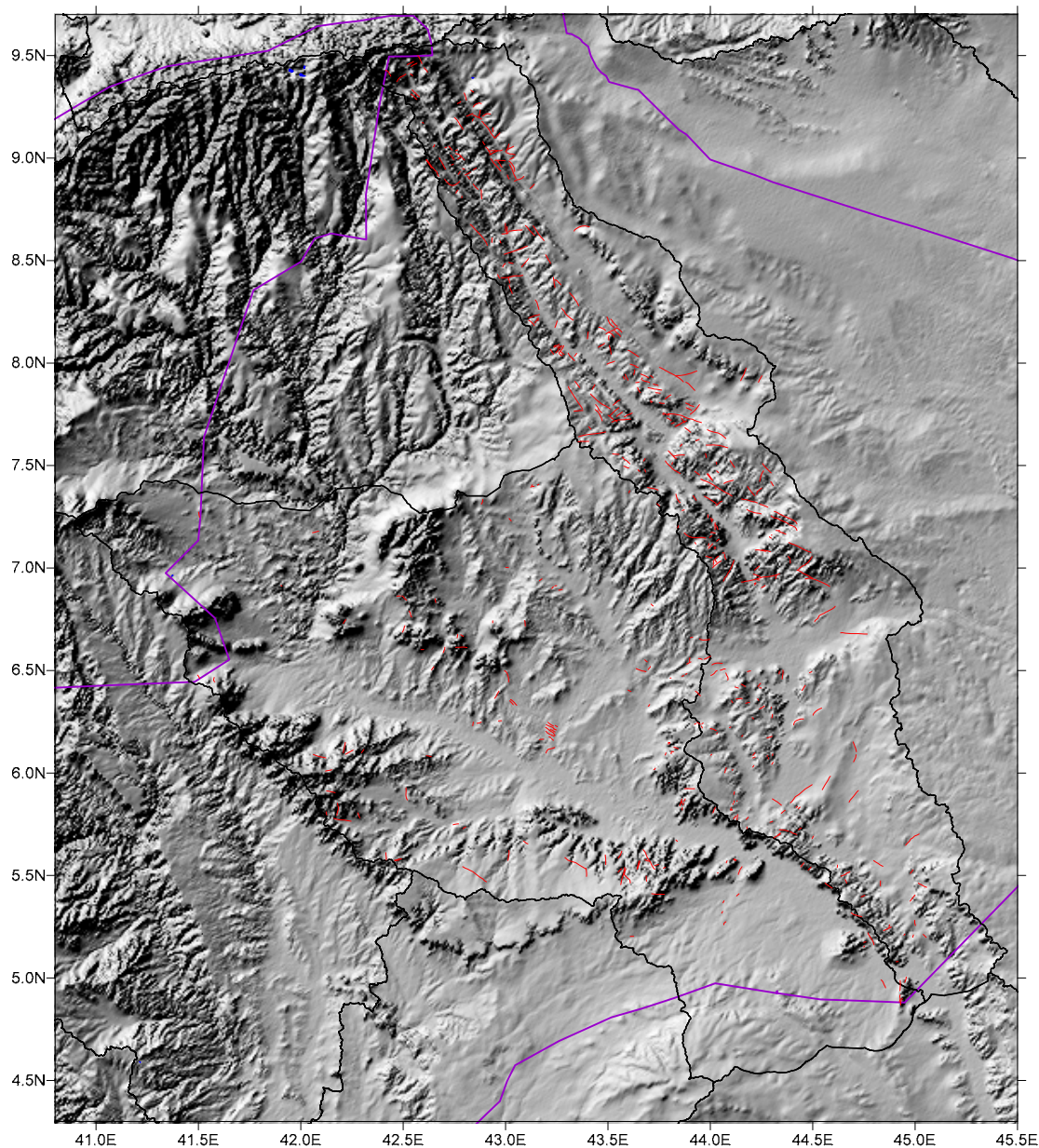


図 3.13: リニアメント判読図(断層と推定される線状構造)

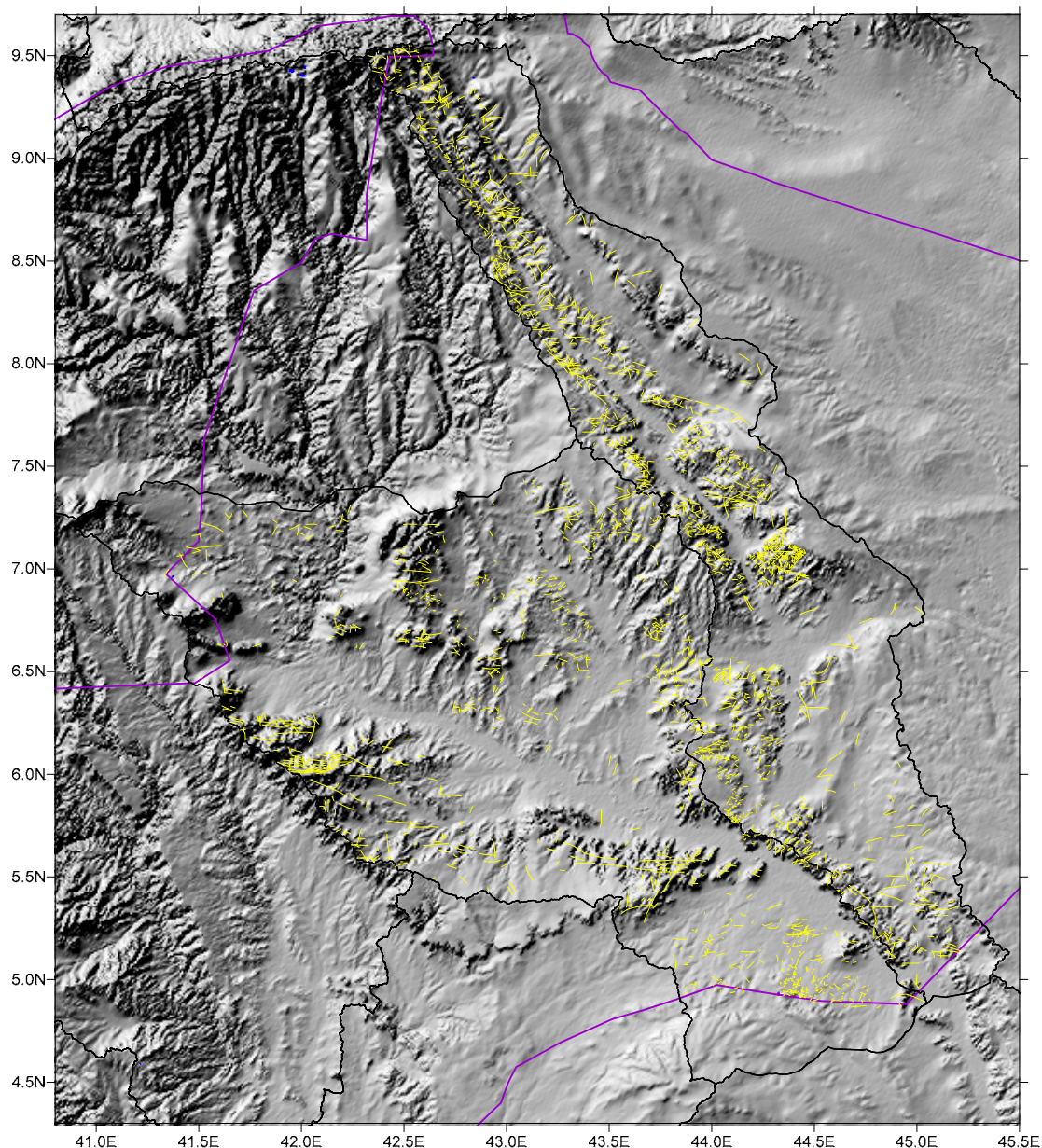


図 3.14: リニアメント判読図(一般的な線状構造)

3.2.4 地質層序

ジャラル峡谷とシェベレ川支流域に分布する主な地質（層相）単元は、下位から先カンブリア時代の基盤岩類、三畳紀－中期ジュラ紀²⁴⁾の Adigrat 砂岩層、Fafem – Jarar 地域に沿って露岩するジュラ紀^{16), 25)}の Urandab 層及び Hamanlei 層、Korahe 県に露岩する中期－後期ジュラ紀¹⁾の Kabridahar 層、Godey 県に広く露岩する後期ジュラ紀－前期白亜紀¹⁶⁾の Korahe 石膏層（Main Gypsum 層）、峡谷の東側に分布する後期白亜紀－前期始新世^{25, 9)}の Jessoma 砂岩層、峡谷を被服する沖積層から成る（表 3.1）。

表 3.1: ソマリ州及びその周辺の地質層序表

代	紀/世	地層名	記号	最大層厚 ¹⁶⁾ (m)	層相の特徴	
新生代	第四紀	第四紀層	Qa	150	• 段丘堆積物から成る。 • 現河床堆積物は「r」の記号で区別した。	
		残積層・崩積土	Qc	50	• 風化残留物、崩積土から成る。	
	第四紀—後期漸新世	未区分第四紀玄武岩	Qb	600	• 漸新世後期から第四紀の未区分の新期玄武岩である。	
	中—後期始新世	Karkar 層	Ek	—	• 白色の多孔質のチョーク質の石灰岩を主とし、茶色の剥離製の頁岩及び縞状の繊維状石膏を挟在する深海成の堆積物である ⁹⁾ 。	
	前—中期始新世	Talah 層	Et	150	• 縞状の塊状硬石膏から成り、不規則に互層するチャート質石灰岩を伴う ⁹⁾ 。	
	—	時代未詳古期玄武岩	Qv	200	• 散在する形で分布する時代未詳の古期玄武岩である。	
中生代	前期始新世—後期白亜紀	Auradu 石灰岩層	Ea	150	• 淡いピンク色の塊状石灰岩を主とし、基底部には鉄染したチャートや数層の海底玄武岩溶岩を伴う ⁹⁾ 。	
		Jessoma 砂岩層	Pj	400	• 斑紋質石英砂岩とシルト岩から成る大陸性から浅海成の堆積物である ²⁵⁾ 。	
	後期白亜紀	Beletwein 石灰岩層	Kb	200	• 微晶質方解析基質石灰岩を主とし、頁岩と砂岩を少量伴う浅海成の堆積物である ²⁵⁾ 。	
		Ferfer 石膏層	Kf	200	• 苦灰岩、石灰岩、泥灰岩、頁岩、硬石膏、石膏の互層から成る潟環境から浅水域の堆積物である ²⁵⁾ 。	
	前—後期白亜紀	Mustahil 石灰岩層	Km	300	• 化石を含む石灰岩を主とし、石灰岩頁岩、泥灰岩を伴う陸棚成の堆積物である ²⁵⁾ 。	
	前期白亜紀—後期ジュラ紀	Korahe 石膏層	Kg	Kg2(上部層)	500	• 石膏、硬石膏、泥灰岩、頁岩、炭酸鉄(菱鉄鉱)から成る潟環境での堆積物である ²⁵⁾ 。
		Kg1(下部層)				
	後期ジュラ紀	Kabridahar 石灰岩層	Jg	Jg2(上部層)	500	• 魚卵状石灰岩と泥灰質の石灰岩を主とし、石膏と頁岩を伴う浅海成の堆積物である ²⁵⁾ 。
				Jg1(下部層)		
		Urandab 層	Ju	120	• ダークグレイ色及び黒色の頁岩によって代表される深海成の堆積物である ²⁵⁾ 。	
中—後期ジュラ紀	Hammanlei 層	Jh	Jh2(上部層)	1600	• 石灰岩、頁岩、硬石膏、砂岩の互層を主とし、苦灰岩、石灰岩、硬石膏、石膏、化石を含むミクライト石灰岩を伴う海成から潟成の堆積物である ²⁵⁾ 。	
Jh1(下部層)						
中期ジュラ紀—三畳紀(?)	Adigrat 砂岩層	Ja	253	• 頁岩やラテライトの縞を伴う中粒～粗粒、赤～褐色砂岩で代表される ²⁵⁾ 。		
原生代	先カンブリア時代	基盤岩	PC	—	• 花崗岩、花崗閃緑岩、片麻岩、角閃岩、片岩、珪岩等の結晶質な岩石から成る ¹⁹⁾ 。	

3.2.5 地質図の地質単元区分

本調査で区分した地質単元を表 3.2に示す。

前述したように、現地調査を伴わない画像判読の限界から、類似する地形パターンを有する地質単元が隣接する地域（例えば、Ju と Jh の細かな判別が難しい地域）や縮尺 1 : 2,500,000 では表現できない複雑な地質分布を示す地域（例えば、図 3.15に示すように第

四紀層が被覆する地域や、玄武岩の小岩体一つ一つの識別が難しい地域) においては、二つの地質単元をまとめた分類を設定した。

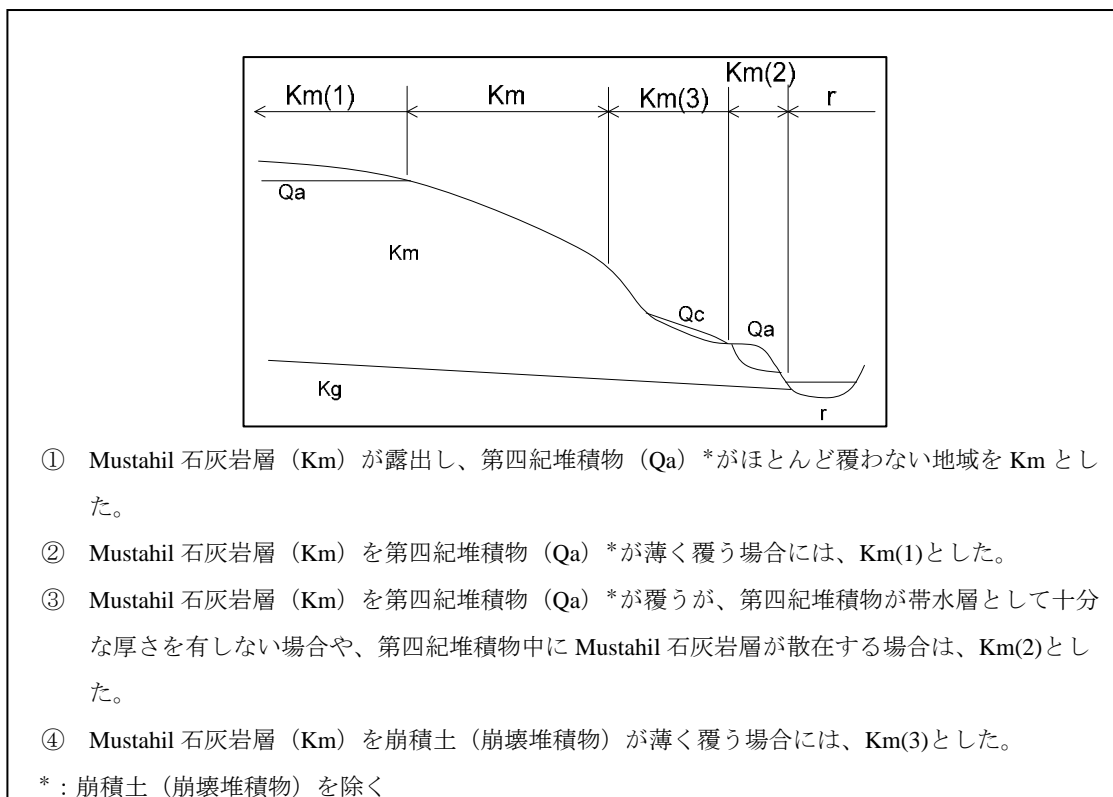
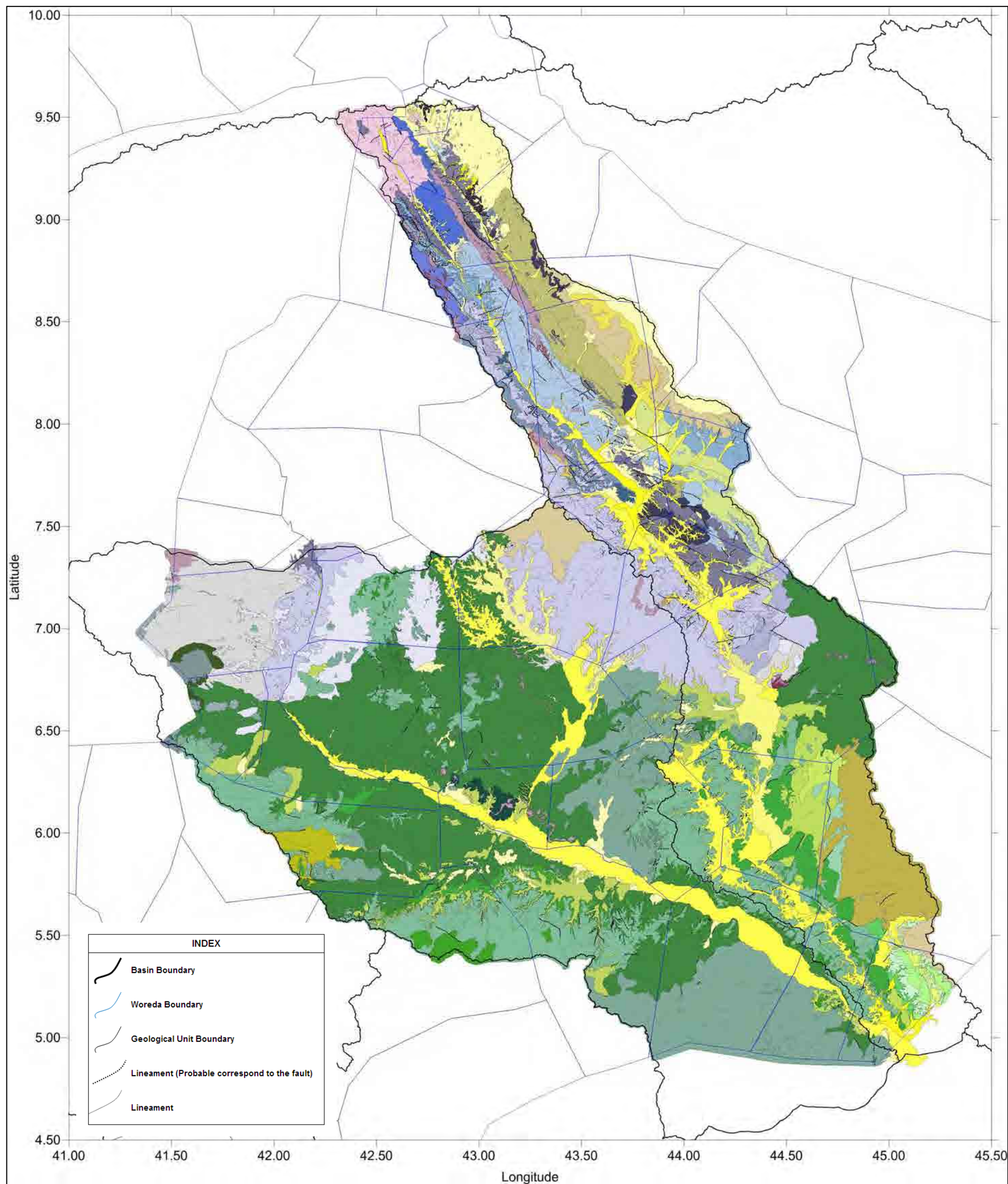


図 3.15: 地質単元区分の考え方の一例



(地質単元区分の色は表 3.2を参照)

図 3.16: 地質図

表 3.2: 地質図の地質単元区分

Quaternary		
River Deposit: Gravel and sand		
r		Present River Deposit
	r(1)	Present River Deposit and terrace deposit (mainly present river deposit)
Alluvial Deposit: Gravel, sand, silt and clay		
Qa		Terrace Deposit
	Qa(1)	Terrace Deposit with present river deposit (mainly terrace deposit)
Colluvial Deposit: Sand, silt, clay and gravel		
Qc		Colluvial Deposit
	Qc(1)	Colluvial Deposit is scattered in areas of Quaternary deposit.
Late Pliocene – Quaternary		
Quaternary Basalt: Basalt lava flow		
Qb		Quaternary Basalt (Recent basalt)
	Qb(1)	Quaternary Basalt is overlain by thin Quaternary deposit
	Qb(2)	Quaternary Basalt is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Quaternary Basalt is scattered in areas of Quaternary deposit.
Cenozoic (Unknown Period)		
Old basalt: Basalt lava flow		
Qv		Old Basalt
	Qv(1)	Old basalt is scattered in areas of Qc.
Late Cretaceous – Early Eocene		
Jessoma Sandstone: Variegated quartz sandstone		
Pj		Jessoma Sandstone
	Pj(1)	Jessoma Sandstone is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Jessoma Sandstone is scattered in areas of Quaternary deposit.
Late Cretaceous		
Beletwein Limestone: Shaly limestone with some sandstone		
Kb		Beletwein Limestone
	Kb(1)	Beletwein Limestone is overlain by thin Quaternary deposit.
	Kb(2)	Beletwein Limestone is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Beletwein Limestone is scattered in areas of Quaternary deposit.
	Kb(3)	Beletwein Limestone is overlain by thin Pj.
Ferfer Gypsum Formation: Gypsum with sand and marl intercalations		
Kf		Ferfer Gypsum Formation
	Kf(1)	Ferfer Gypsum Formation is overlain by thin Quaternary deposit.
	Kf(2)	Ferfer Gypsum Formation is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Ferfer Gypsum Formation is scattered in areas of Quaternary deposit.
Early to Late Cretaceous		
Mustahil Limestone: Biogenic limestone and marlstone		
Km		Mustahil Limestone
	Km(1)	Mustahil Limestone with flat ground surface
	Km(2)	Mustahil Limestone is overlain by thin Quaternary deposit.
	Km(3)	Mustahil Limestone is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Mustahil Limestone is scattered in areas of Quaternary deposit.
	Km(4)	Mustahil Limestone is overlain by thin Qc.
	Km(5)	Mustahil Limestone is overlain by Qc that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Mustahil Limestone is scattered in areas of Qc.

Late Jurassic – Early Cretaceous		
Korahe Gypsum Formation (Main Gypsum Formation): Gypsum evaporates with limestone		
Kg2		Korahe Gypsum Formation (Upper unit)
	Kg2(1)	Korahe Gypsum Formation (Upper unit) is overlain by thin Quaternary deposit.
	Kg2(2)	Korahe Gypsum Formation (Upper unit) is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Korahe Gypsum Formation (Upper unit) is scattered in areas of
	Kg2(3)	Qv is scattered in areas of Korahe Gypsum Formation (Upper unit).
Kg1		Korahe Gypsum Formation (Lower unit)
	Kg1(1)	Korahe Gypsum Formation (Lower unit) is overlain by thin Qc.
Amba Aradam Sandstone: Variegated quartz sandstone		
Ka		Amba Aradam Sandstone
Late Jurassic		
Kabridahar Formation: Oolitic limestone, marl and gypsum		
Jg2		Kabridahar Formation (Upper unit)
	Jg2(1)	Kabridahar Formation (Upper unit) is overlain by thin Quaternary deposit.
	Jg2(2)	Kabridahar Formation (Upper unit) is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Kabridahar Formation (Upper unit) is scattered in areas of Quaternary deposit.
Jg1		Kabridahar Formation (Lower unit)
	Jg1(1)	Kabridahar Formation (Lower unit) is overlain by thin Quaternary deposit.
	Jg1(2)	Kabridahar Formation (Lower unit) is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Kabridahar Formation (Lower unit) is scattered in areas of Quaternary deposit.
Urاندab Formation: Shale and marl with limestone and gypsum		
Ju		Urاندab Formation
	Ju(1)	Urاندab Formation is overlain by thin Quaternary deposit.
	Ju(2)	Urاندab Formation is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Urاندab Formation is scattered in areas of Quaternary deposit.
	Ju(3)	Qb is scattered in areas of Urاندab Formation.
Middle to Late Jurassic		
Ju+Jh		The boundary between Urاندab Formation and Hammanlei Formation is indefinite by image analysis involving visual inspection.
Hammanlei Formation: Organogenic and oolitic limestone with shale and sandstone intercalations		
Jh2		Hammanlei Formation (Upper unit)
	Jh2(1)	Hammanlei Formation (Upper unit) is overlain by thin Quaternary deposit.
	Jh2(2)	Hammanlei Formation (Upper unit) is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Hammanlei Formation (Upper unit) is scattered in areas of Quaternary deposit.
Jh1		Hammanlei Formation (Lower unit)
	Jh1(1)	Hammanlei Formation (Lower unit) is overlain by thin Quaternary deposit.
	Jh1(2)	Hammanlei Formation (Lower unit) is overlain by Quaternary deposit that does not have a sufficient thickness as aquifer. Or Hammanlei Formation (Lower unit) is scattered in areas of Quaternary deposit.
	Jh1(3)	Hammanlei Formation (Lower unit) is overlain by thin Qc.
Triassic(?) – Middle Jurassic		
Adigrat Sandstone: Fine to coarse sandstone		
Ja		Adigrat Sandstone
	Ja(1)	Adigrat Sandstone is overlain by thin Quaternary deposit. (Quaternary deposit does not have a sufficient thickness as aquifer.)
Precambrian		
Basement rocks: granite, granite-gneiss, migmatite, amphibolite, diorite		
PC		Basement rocks

3.2.6 層相

本調査では安全上の理由から、地質露頭の観察がほとんどできていない。このような状況であるため、下位から順に各地質単元の層相の概要を前述した既往調査結果に基づき記載する。

a. 基盤岩類（複合岩体）（PC）

アフリカ大陸の基盤岩の一部を成す先カンブリア時代の岩石を一括している。花崗岩、花崗岩質片麻岩、角閃岩、閃緑岩を含む結晶質岩から成る。これらの基盤岩類は中生代の堆積物に覆われ、さらに両者は第三紀から第四紀の火山岩類や沖積層に覆われている（図 3.17）。

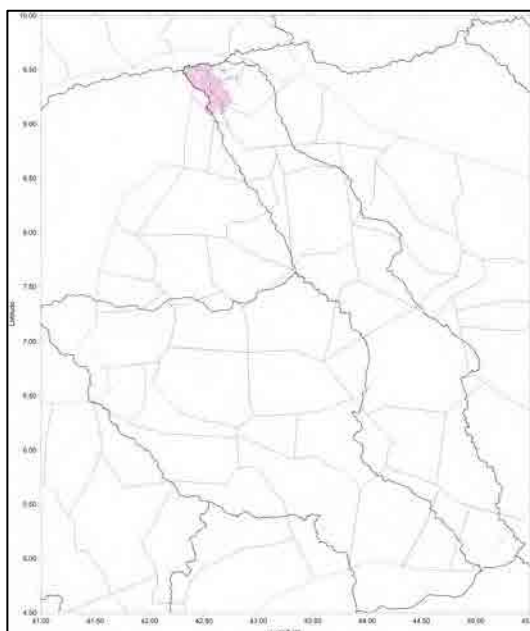


図 3.17: 基盤岩類の表層部分布域

b. 古生界

古生代の堆積岩はソマリ州には露出していない¹⁶⁾。しかしながら、石油掘削井ではその存在が確認されている（例えば、Bokh層、Gumburo層など：Bokh Petroleum well-1 (E46° 56' 35"、N7° 29' 47")）。

また、オルドビス紀の氷成角礫岩や氷河成砂岩が、オロミア州の地質図には記されている¹⁶⁾。

c. Adigrat砂岩層（Ja）

ティグライ州北部の Adigrat 市近くを模式地にして命名された Adigrat 砂岩層 (Blanford, 1870) ⁴⁾は、ソマリ州における基底の砂岩層であり、本層相当層は東アフリカに広く認められる ¹⁶⁾。ソマリア国南部では、本層は石膏を挟在する雑色石英砂岩と暗赤色の頁岩から成り最大層厚は 130m である。ソマリア国北部では、本層は雑色の細粒－粗粒で石英質－雲母質－含斜交葉理の化石を含まない砂岩から成り、局所的に上方に向かい砂質石灰岩に漸移する ¹⁶⁾。

エチオピア国では、Adigrat 砂岩層は層厚 60m 程度の細粒－中粒砂岩として記載されている ¹⁶⁾。一般に、セメント化の程度は低く、局所的に石英質であったり、化石を含まないこともある ¹⁶⁾。エチオピア国内での掘削記録では、Sinclair XEF-1 井で本層を 24m 掘削して、深度 12m までが砂岩、次の 9m が頁岩、次の 3m が基底礫岩とされている。Afdar 県で掘削された油井では、最大深度 253m で本層に達している ¹⁶⁾。

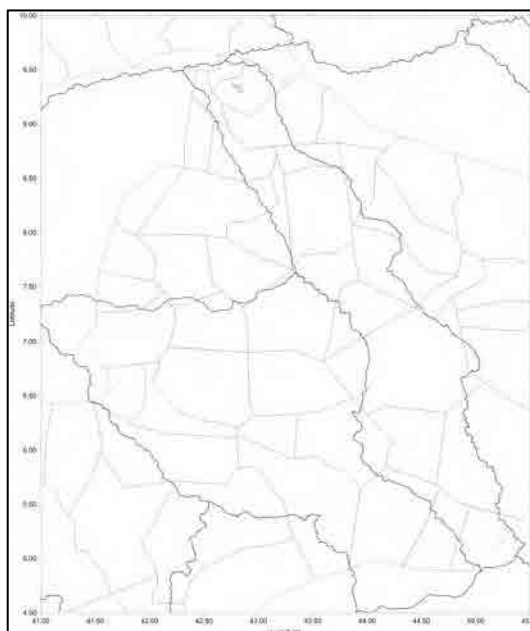


図 3.18: Adigrat 砂岩層の表層部分布域

d. Hamanlei層 (Jh)

Hamanlei 層の層名の由来・模式地について、WWDSE (2004)²⁵⁾は、「Hamanlei 層の模式断面露頭は、Ogaden の Hammanlei 村にある。模式断面露頭については Migliorini et al. (1956) によって記載された」と、記している。また、Merla et al. (1973)¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Azzaroli & Merla (1959) の「Serie di Hamanlei」、Barbieri (1968) の「Iscia Baidoa Formation」に相当するとされている。

Hamanlei 層は下位の Adigrat 層から漸移的に変化し、Urandab 層に覆われる石灰岩と苦灰岩が卓越する地層である¹⁶⁾。また、Ministry of Agriculture (2012)²³⁾や UNESCO (2012)²²⁾に従うと、基盤岩類とは不整合で接する本層は上位層 (Jh2) と下位層 (Jh1) に細分されている。本層は、Amhara 山地やジャラル溪谷に沿って露岩する¹⁸⁾ (図 3.19)。

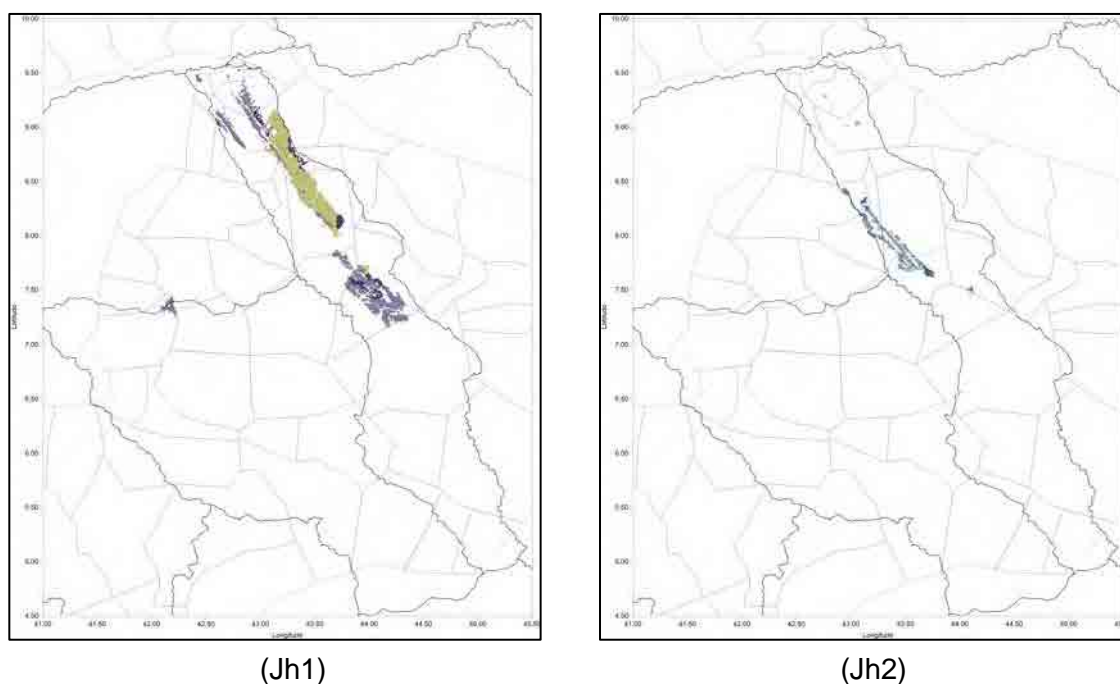


図 3.19: Hamanlei 層の表層部分布域

e. **Urandab層 (Ju)**

Urandab 層の層名の由来・模式地について、WWDSE (2004) ²⁵⁾は、「Urandab 層は、模式地近くの Ogaden 北部の Urandab 村にちなんで命名された (Migiorini, 1948 ; Clift, 1956) 」と、記している。また、Merla et al. (1973) ¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Agip Mission (1936-38) 他の「Serie di Urandab」、Barbieri (1968) の「Anole Formation」に相当するとされている。

Urandab 層はジャラル溪谷の下流部や Kabridahar 地域に露岩する ¹⁸⁾ (図 3.20) 。本層は、上位に向かい徐々に泥灰岩の割合が増す層理が発達した細粒石灰岩、石膏質粘土、塊状石膏から成る ¹⁸⁾。層厚は 70m~120m であまり変化しない ¹⁸⁾。一般に、深い谷では地表からの地下水位は浅い(30m以浅) ¹⁸⁾。Danan と Kabridahar 間の南北の谷と共に Kabridahar - Shaygosh 間の地域でも地下水位は比較的浅く (20~50m) なっている ¹⁸⁾。また、本層の中位には、ほとんどの地域で飲料水に適さない鉱水を含んでいる ¹⁸⁾。

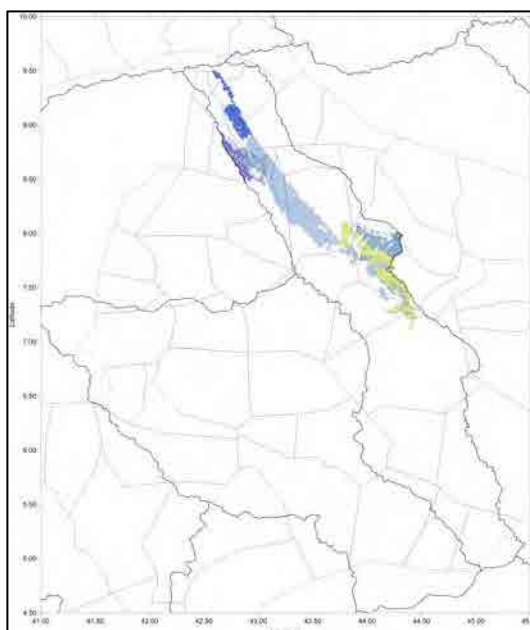


図 3.20: Urandab 層の表層部分布域

f. **Kabridahar石灰岩層（Jg）**

Kabridahar 石灰岩層の層名の由来・模式地について、WWDSE (2004)²⁵⁾は、「Kabridahar 層の模式地(模式断面露頭)は、Ogaden 北部の Gabredarre (Kabridahar) 村にある (Migiorini、1948、1956 ; Clift、1956) 」と、記している。また、Merla et al. (1973)²²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Agip Mission (1936-38) 他の「Serie di Gabredarre」、Barbieri (1968) の「Uegit Formation」に相当するとされている。

Kabridahar 石灰岩層は、基底部には石灰質な頁岩が分布し、上位は泥灰質の石灰岩や粘土を挟在する砕岩質石灰岩から成る²⁵⁾。さらに、石膏の薄層が本層全体にわたって広く挟在されている²⁵⁾。また、Ministry of Agriculture (2012)²³⁾や UNESCO (2012)²²⁾に従うと、本層は上位層 (Jg2) と下位層 (Jg1) に細分される。本層は Wabi Shebele 流域の中流域や Weyb River 渓谷の広い範囲を占めて分布している¹⁸⁾ (図 3.21)。

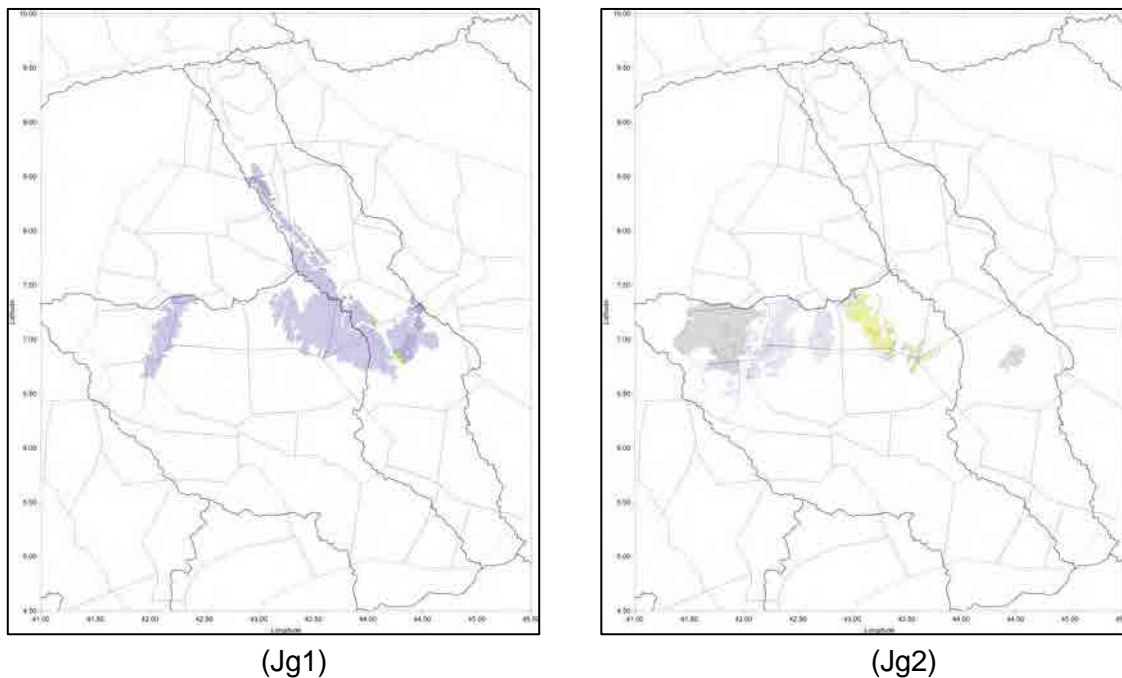


図 3.21: Kabridahar 石灰岩層の表層部分布域

g. Amba Aradam砂岩層 (Ka)

Amba Aradam 砂岩層の層名の由来・模式地について、WWDSE (2004) ²⁵⁾は、「Amba Aradam 砂岩層は、模式地であるエチオピア北部ティグライ州の Amba Aradam 村にちなんで命名された」と、記している。また、Merla et al. (1973) ¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Weir (1929) の「Merehan Sandstone」、Barbieri (1968) の「Ambar Sandston」に相当するとされている。

Amba Aradam 砂岩層は、白亜紀前期の堆積物で海退期の層相を代表するものと考えられている (Dainelli, 1943⁶⁾) ²⁵⁾。

本層は、頻繁に斜交葉理を示す中粒～粗粒の陸性の砂岩層で1～30mの層厚を有する ²⁵⁾。層相的には Adigrat 砂岩に類似しており ²⁵⁾、シルト岩、頁岩、泥灰岩が砂質層としばしば互層する ²⁵⁾ (図 3.22)。

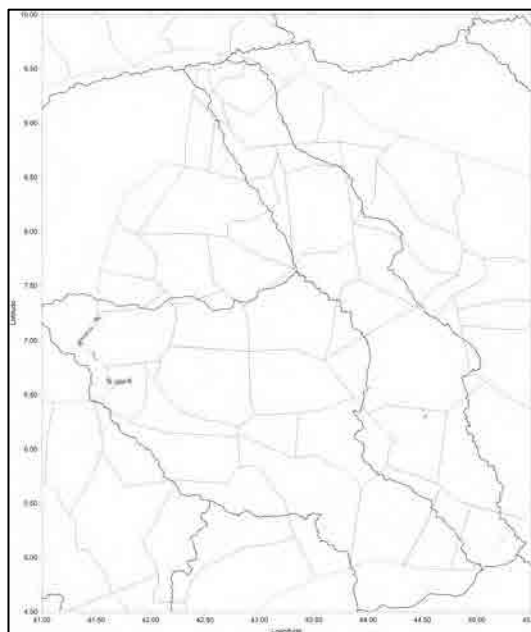


図 3.22: Amba Aradam 砂岩層の表層部分布域

h. Korahé石膏層（Main Gypsum層）（Kg）

WWDSE（2004）²⁵⁾では、「Korahé 石膏層は、“Main Gypsum” 単元として以前は扱われていた（Migliorini, 1948 ; Clift, 1956）」と、記している。また、Merla et al.（1973）¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、Main Gypsum 層は Tavani（1949）の「Formazione Selenitosa Principale」に相当するとされている（模式断面露頭：Gabredarre（Kabridahar）村）。

Korahé 石膏層の露岩域は、Kabridahar 市の東から Wabi Shebele 流域と Genale 川溪谷であり（図 3.23）。本層が形成する一般的な地形は、浅く枯渇した小流路からなる高密度の水系で区切られる起伏を有する平坦地形である¹⁸⁾。Ministry of Agriculture（2012）²³⁾や UNESCO（2012）²²⁾に従うと、本層は上位層（Kg2）と下位層（Kg1）に細分される。本層の上部は苦灰岩層を伴う塊状の硬石膏が卓越する¹⁸⁾。下部は苦灰質石灰岩、泥灰岩、頁岩、硬石灰の互層で代表される²⁾。層厚は 100～150m の間で変化するが、500m に達することもある¹⁸⁾。硬石膏の不透水性により、本層の上部は Ogaden 堆積盆の難帯水層となっているが、下部層が直接雨水に接するような地域では、汽水性の地下水を浅所で得ることができる¹⁸⁾。

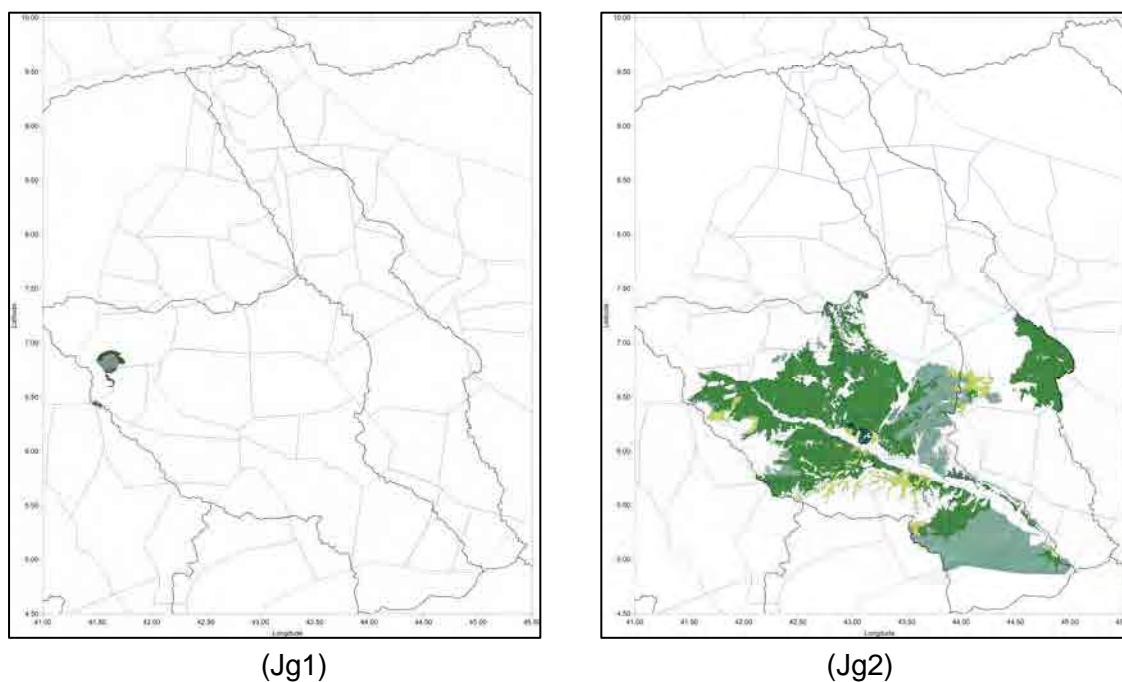


図 3.23: Korahé 石膏層の表層部分布域

i. Mustahil石灰岩層 (Km)

Mustahil 石灰岩層の層名の由来・模式地について、WWDSE (2004) ²⁵⁾は、「Mustahil 層は、模式地近くの Mustahil 村にちなんで命名された (Taylor, 1947 ; Migiorini, 1948、1956 ; Clift, 1956) 」と、記している。また、Merla et al. (1973) ¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Tavani (1949) の「Serie di Mustahil」に相当するとされている。

Mustahil 石灰岩層は Wabi Shebele 流域の下流部に露岩しており、Doba wein 県の一部地域をも被覆している ¹⁸⁾ (図 3.24) 。本層が形成する地形は、短く幅広く浅い谷によって隔てられる高い稜線を伴う大きな波状の台地で特徴付けられる ¹⁸⁾。Mustahil 石灰岩層は、二つの单元よりなり、頁岩及び泥灰岩と互層する石灰岩が下部層の特徴である ¹⁸⁾。一方、上部層では礁性石灰岩が卓越する ¹⁸⁾。本層は宙水帯水層を形成し、そこからの取水が可能であるので、本層中、特に Kalafu 周辺や Kabridahar 方向に向かった Fafem 峡谷内で多くのダッグウエルの存在が知られている ¹⁸⁾。

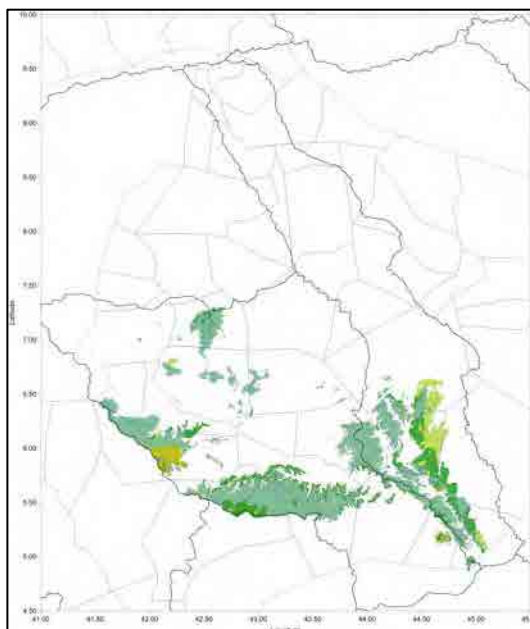


図 3.24: Mustahil 石灰岩層の表層部分布域

j. Ferfer石膏層（Kf）

Ferfer 石膏層の層名の由来・模式地について、WWDSE（2004）²⁵⁾は、「Ferfer Gypsum 層は、ソマリア国との国境近くの Ferfer 村にちなんで命名された（Migiorini、1948、1956；Clift、1956）」と、記している。また、Merla et al.（1973）¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Tavani（1949）の「Gessi di Ferfer」に相当するとされている。

Ferfer 石膏層は、Wabi Shebele 流域下流部に露岩する¹⁸⁾（図 3.25）。本層は、苦灰岩、泥灰岩、頁岩、硬石膏の互層から成り、Korahe 石膏層と非常に類似している¹⁸⁾。層厚は 100～200m で変化する¹⁸⁾。Shilabo 市の南部のようにカルスト地形が随所に存在する¹⁸⁾。そのような地域では、沖積層中から浅いダッグウエルで地下水が得られる¹⁸⁾。しかしながら、Ferfer 石膏層は良好な状況でも難透水層または塩水帯水層である¹⁸⁾。それ故、本層が広く分布する地域で地下水が取水できる可能性があるのは、掘削が深度 100～150m に到達して下位層の Mustahil 石灰岩層の石灰岩から取水する時のみである¹⁸⁾。

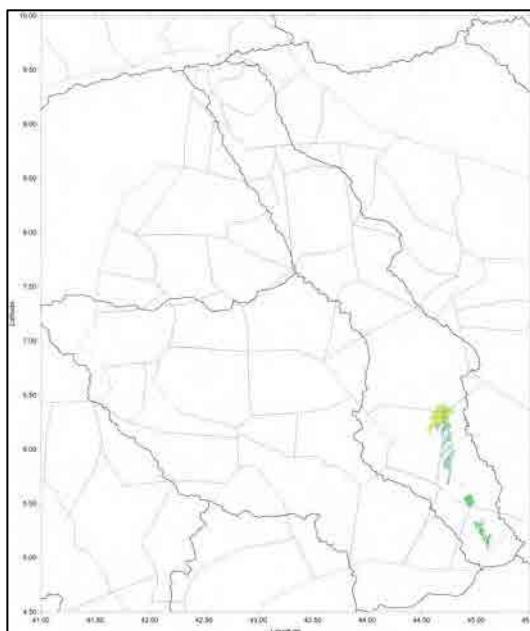


図 3.25: Ferfer 石膏層の表層部分布域

k. Beletwein石灰岩層（Kb）

Beletwein 石灰岩層の層名の由来・模式地について、WWDSE (2004) ²⁵⁾は、「Beletwein 層は、ソマリア国南部の Belt Uen (Beletwein) 村の模式断面露頭にちなんで命名された (Migiorini, 1948 ; Taylor, 1948 ; Clift, 1948) 」と、記している。また、Merla et al. (1973) ¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Tavani (1949) の「Serie di Belt Uen (模式地 : Belt Uen) 」に相当するとされている。

本層は、頁岩と褐色砂岩を挟在する塊状石灰岩から成り、Ferfer – Shilabo 道路に沿った急崖で良く観察される ¹⁸⁾ (図 3.26)。最大層厚は 230m に達する ¹⁸⁾。本層中の掘削井戸では、下部では比較的新鮮な水質の地下水が存在するが、上部に向かって水質が悪くなる ¹⁸⁾。

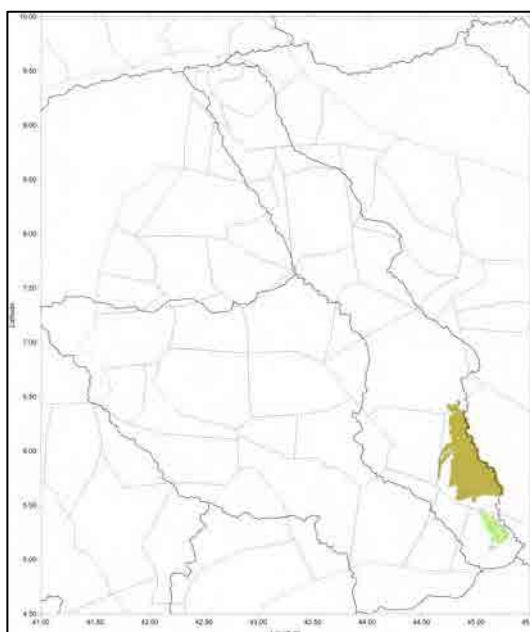


図 3.26: Beletwein 石灰岩層の表層部分布域

l. Jessoma砂岩層 (Kj)

Jessoma 砂岩層の層名の由来・模式地について、WWDSE (2004)²⁵⁾は、「Jessoma 層は、ソマリア国南部の Jessoma 村の模式地にちなんで命名された (Migiorini, 1948; Clift, 1956)」と、記している。また、Merla et al. (1973)¹²⁾のソマリア国の中生代の章では、本層は Stefanini (1925) の「Arenarie di Yesomma (模式地: Yessoma)」に相当するとされている。

Jessoma 砂岩層は、Ogaden 堆積盆の東部に広く分布し、白亜紀後期の堆積物を不整合で覆っており (図 3.27)、砂質粘土と淘汰の悪い石英質砂岩で代表される¹⁸⁾。最大層厚は、約 500m と推定されている¹⁸⁾。堆積物の粒度と層厚は、西から東に次第に大きくなる¹⁸⁾。砂岩は西部でより塊状で、東部に向かいより脆弱になる¹⁸⁾。本層の層相の特徴として、砂岩の含水特性が水平方向にも垂直方向にもかなり変化することが挙げられている¹⁸⁾。東部では、浅部の難透水層の欠如により、本層への直接の涵養が可能となり下位の不透水性の固結した石灰岩や白亜紀後期の堆積物の粘土層まで地下水が深く浸透していく傾向にある¹⁸⁾。その結果として、この地域の地下水位は大変深くなると推定されている¹⁸⁾。本層の掘削は技術的困難さから容易ではない¹⁸⁾。西部地域では大きな逸水、東部地域では陥没や崩壊が掘削中に発生するとともに、更なる問題点として、井戸仕上げ後のポンプの目詰まりの頻度の高さ等が挙げられている¹⁸⁾。

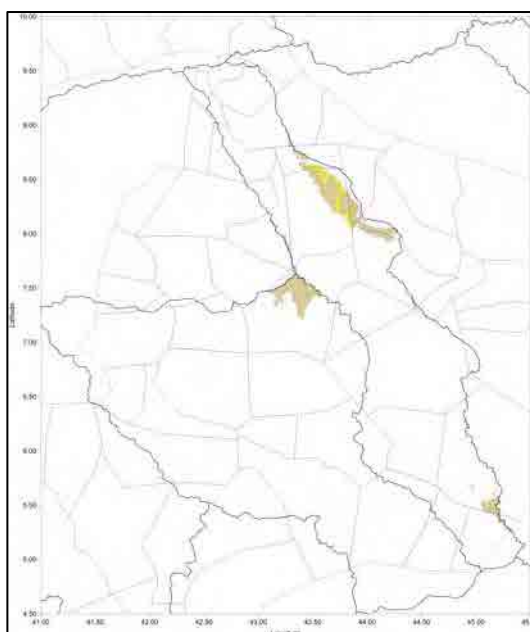


図 3.27: Jessoma 砂岩層の表層部分布域

m. Auradu石灰岩層 (Ea)

露岩する暁新統として Auradu 石灰岩層が挙げられる¹⁶⁾。

Merla et al. (1973)¹²⁾では、本層は Gregory (1900) の「Urdu Limestone」、Macfadyen (1933) の「Auradu Series」に相当するとされており、本層の模式地域 (type area) はソマリア国北部の Berbera 市の南部とされている。

SHAAC (2009) ¹⁶⁾は、「本層の模式地はソマリア北部の Nogal 溪谷であり、そこでは層厚は 550m に達する。本層は、局所的に灰色頁岩の薄層を伴う細粒な結晶質・コンパクト・硬質・一般に黄褐色から薄茶の石灰岩から成る。また、本層は、*Lockhartias*, *Sakesarias*, *Alveolinas*, *Nummulites* 等の浅海の有孔虫を含んでいる。」と記している。

露岩する Auradu 石灰岩層の年代は、*Lockhartia tipperi*, *Nummulites somaliensis*, *Daviesina danieli* の産出が、暁新世と前期始新世が含まれることを示唆する ¹⁶⁾。

ソマリ州においては、Auradu 石灰岩は Warder 県の東部に露岩する ¹⁶⁾。Warder 県の Sinclair 井は Auradu 石灰岩まで貫通し、Bokh 市に近くに位置する XE-3A 井は最大層厚 399m を有する ¹⁶⁾。

n. 時代未詳古期玄武岩 (Qv)

時代未詳の古期玄武岩が、多くは散在する形で、WalBokhwal – Warder – Yucub 地域、Fik 市地域、Afder 県の Barey 市周辺地域に露岩する（図 3.28）。

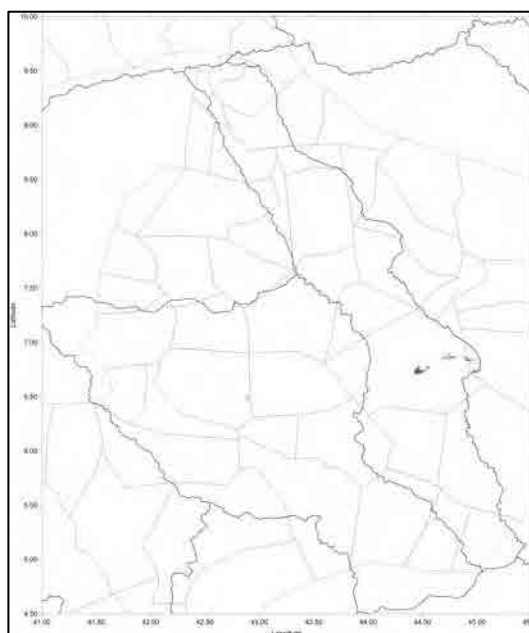


図 3.28: 時代未詳古期玄武岩の地表部分布域

o. Talah層 (Et) 及びKarkar層 (Ek)

第三紀後期の堆積岩は、二つの地層、Talah 層と Karkar 層とに分類され、両層とも Ogaden 東部に分布する。

Talah 層は主として硬石膏と化石を含む石灰岩の互層から成る ¹⁰⁾。

Merla et al. (1973) ¹²⁾では、Talah 層は Stefanini (1925) の「Serie di Taleh」、Macfadyen (1933) の「Anhydrite Series」に相当し、模式地は、ソマリア国北部の Nogal 溪谷とされている。

一方、最も新しい第三紀の堆積物である Karkar 層は、多孔性の石灰岩、頁岩、石膏の

互層から成る¹⁰⁾。

Merla et al. (1973)¹²⁾では、Karkar 層は Stefanini (1925) の「Serie del Carcàr」であるとされ、本層名は、Karkar 層はソマリア国北部の Darror depression の南縁を形成する Karkar Hills に由来すると記されている。

p. 未区分第四紀玄武岩 (Qb)

ソマリ州内に露岩する本層の層相一層序は、漸新世後期から第四紀の玄武岩であることを示す¹⁶⁾。Shinile 県には、この詳細には区分されていない火山岩類が露岩する¹⁶⁾ (図 3.29)。リフトバレーの玄武岩流は後期白亜紀から漸新世の地質年代を示すが^{19) in 16)}、本地域の玄武岩流は漸新世から中新世の地質年代を示している^{13) in 16)}。

既往調査¹⁶⁾によると、Shinile 県の火山岩流の層厚は 50~200m である。

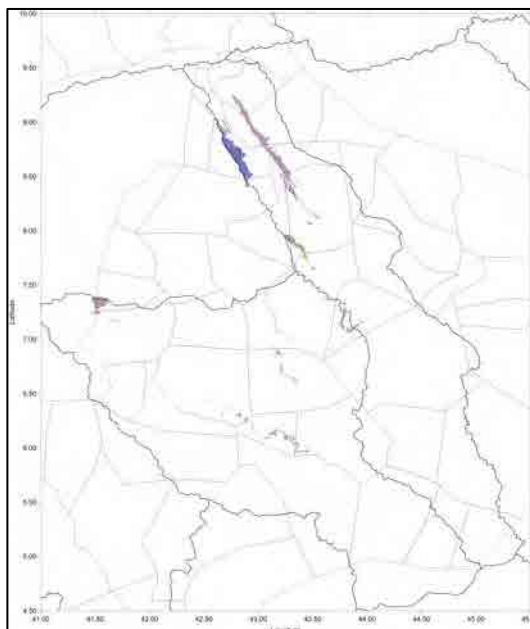


図 3.29: 未区分第四紀玄武岩の表層部分布域

q. 沖積層、更新統 (Qa) 及び崩壊堆積物 (Qc)

沖積層や崩壊堆積物（残積土・崩積土）は、構造谷に沿って枯渇した河床に認められる。また河川沿い、特にシェベレ川沿いには、更新統の段丘堆積物が分布する。沖積層には河床堆積物も含まれる。

3.3 地形・地質解析

3.3.1 ジャラル溪谷

給水計画マスタープラン（M/P）作成対象の郡に関して、地形・地質境界、井戸位置等を含んだ地形・地質区分図、地形・地質断面図を示す。この地形・地質区分図は表 3.2の地質単元情報の他に表 3.3に示す情報を含んでいる。また、地形・地質断面図には、表 3.4の情報を含んでいる。

表 3.3: 地形・地質区分図の凡例


















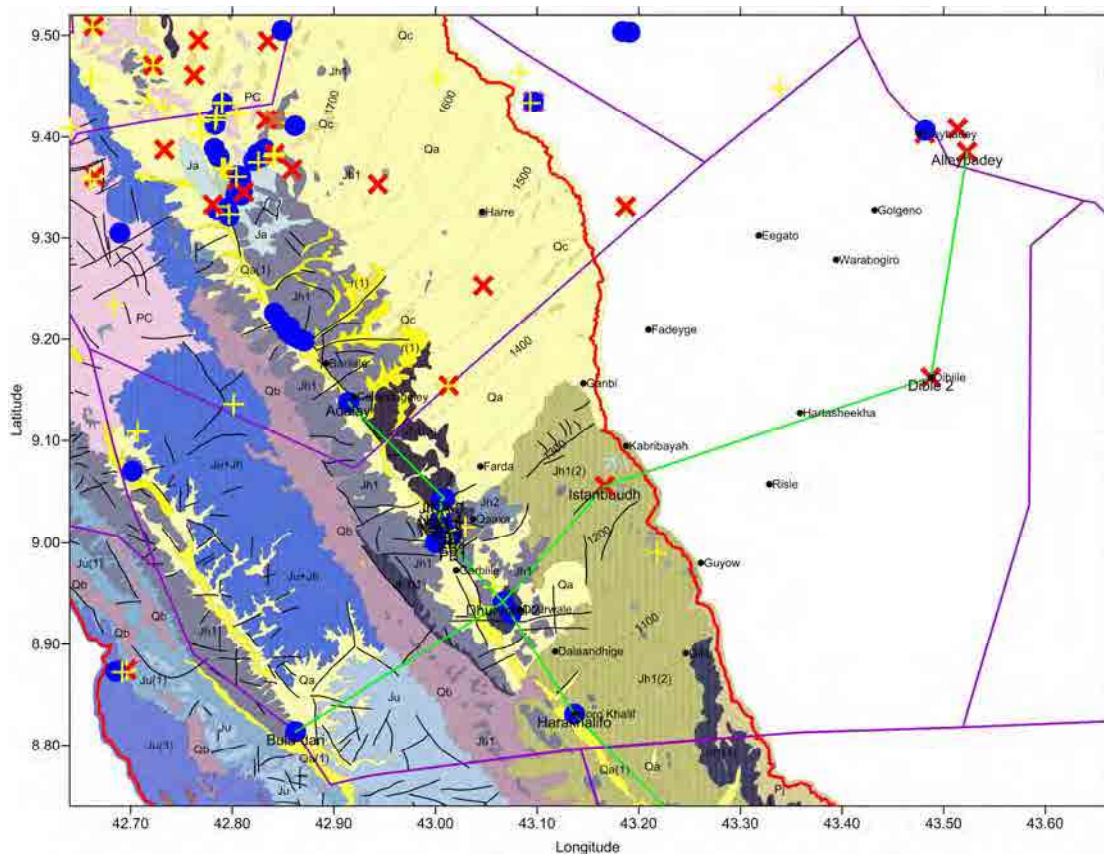
INDEX	
 Basin Boundary	 Successful Well
 Woreda Boundary	 Abandoned Well (Dry and Low Yield)
 Town/Village	 Abandoned Well (Bad Water Quality)
 Landform & Geological Boundary	 Abandoned Well (Failure of Construction)
 Lineament	 Abandoned Well (Unknown Reasons)
 Profile line	 Oil Well
	 Insufficient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

表 3.4: 地形・地質断面図の凡例

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

a. Kabribeyah woreda

Kabribeyah 郡の地形・地質区分図を図 3.30、地形・地質断面図を図 3.31及び図 3.32 に示す。



(--- : Adigrat砂岩層上面深度分布、単位 : m(amsl))

図 3.30: Kabribeyah 郡の地形・地質区分図

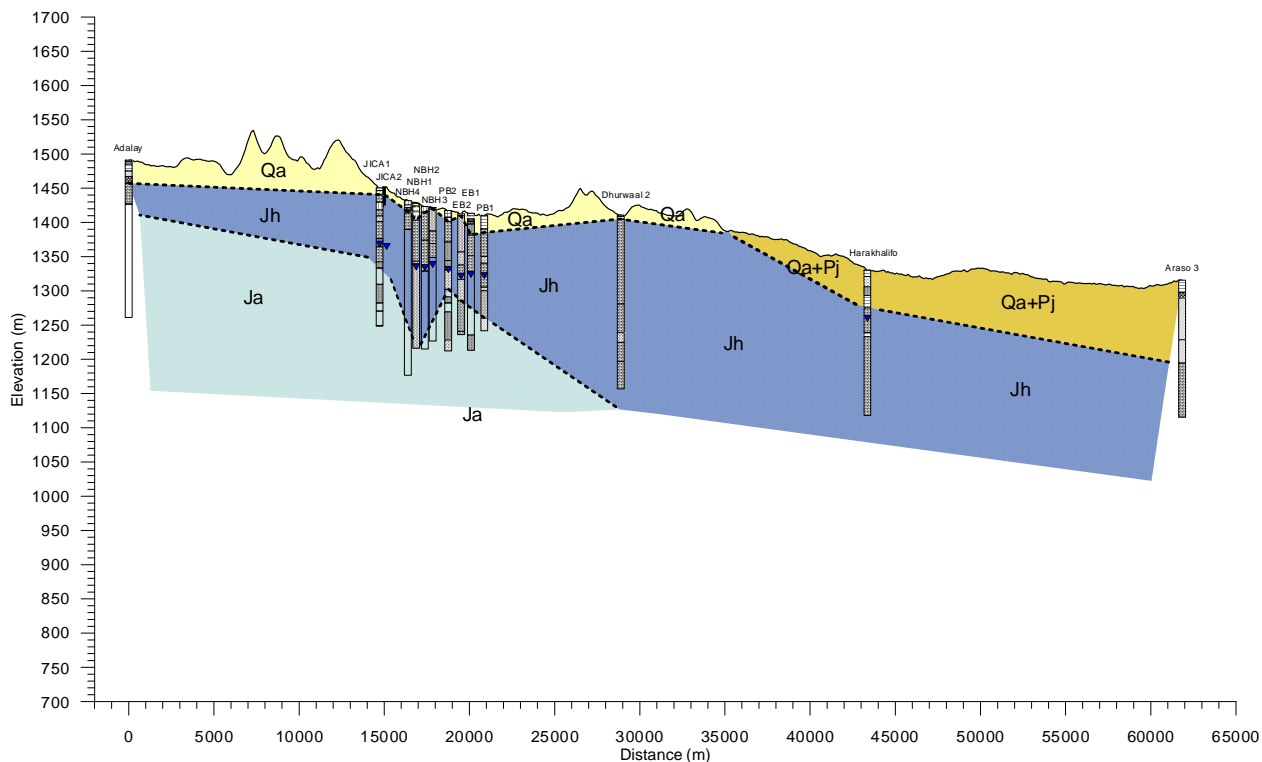


図 3.31: Kabribeyah 郡の地形・地質断面図(河川に並行)

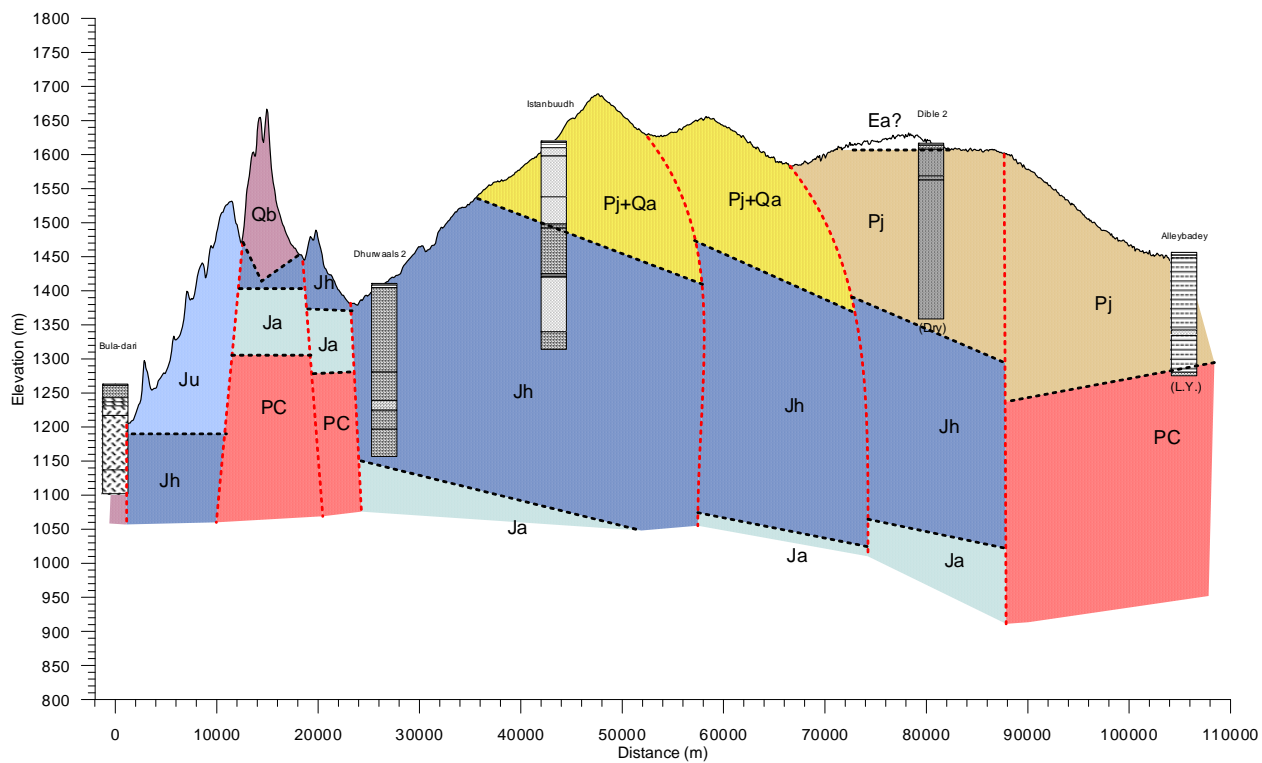
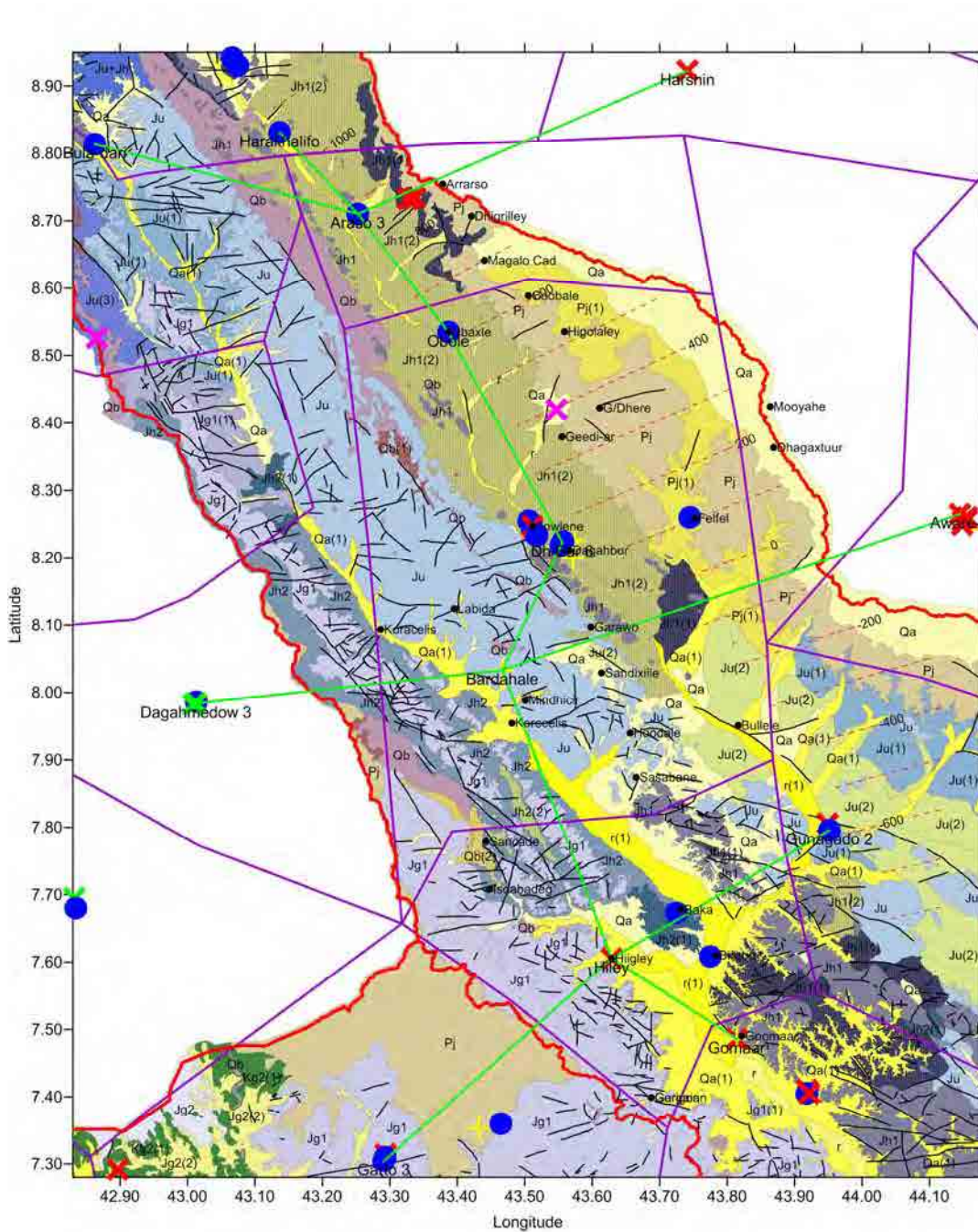


図 3.32: Kabribeyah 郡の地形・地質断面図(河川を横断)

b. Araarso woreda

Araarso 郡の地形・地質区分図を図 3.33、地形・地質断面図を図 3.34及び図 3.35に示す。



(--- : Adigrat砂岩層上面深度分布、単位 : m(amsl))

図 3.33: Araarso 郡、Dagahbur 郡、Birqod 郡の地形・地質区分図

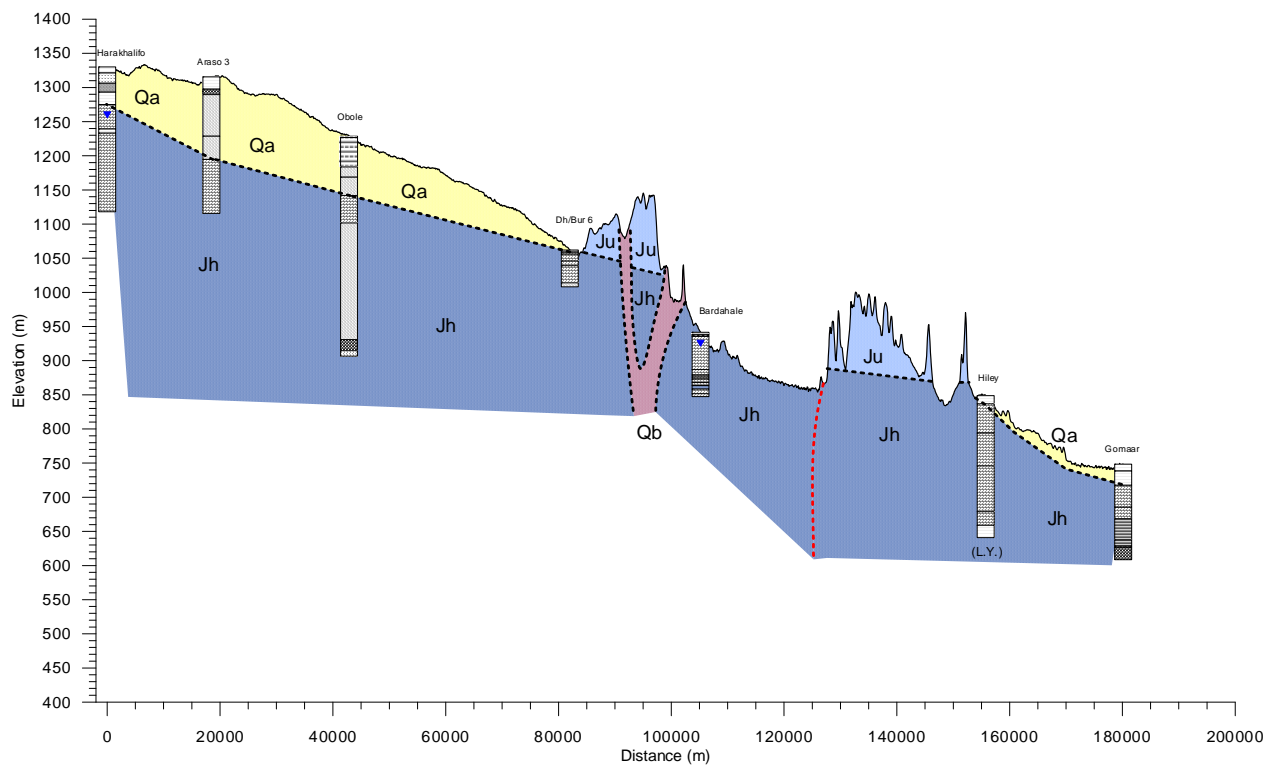


図 3.34: Araarso 郡—Dagahbur 郡—Birqod 郡の地形・地質断面図(河川に並行)

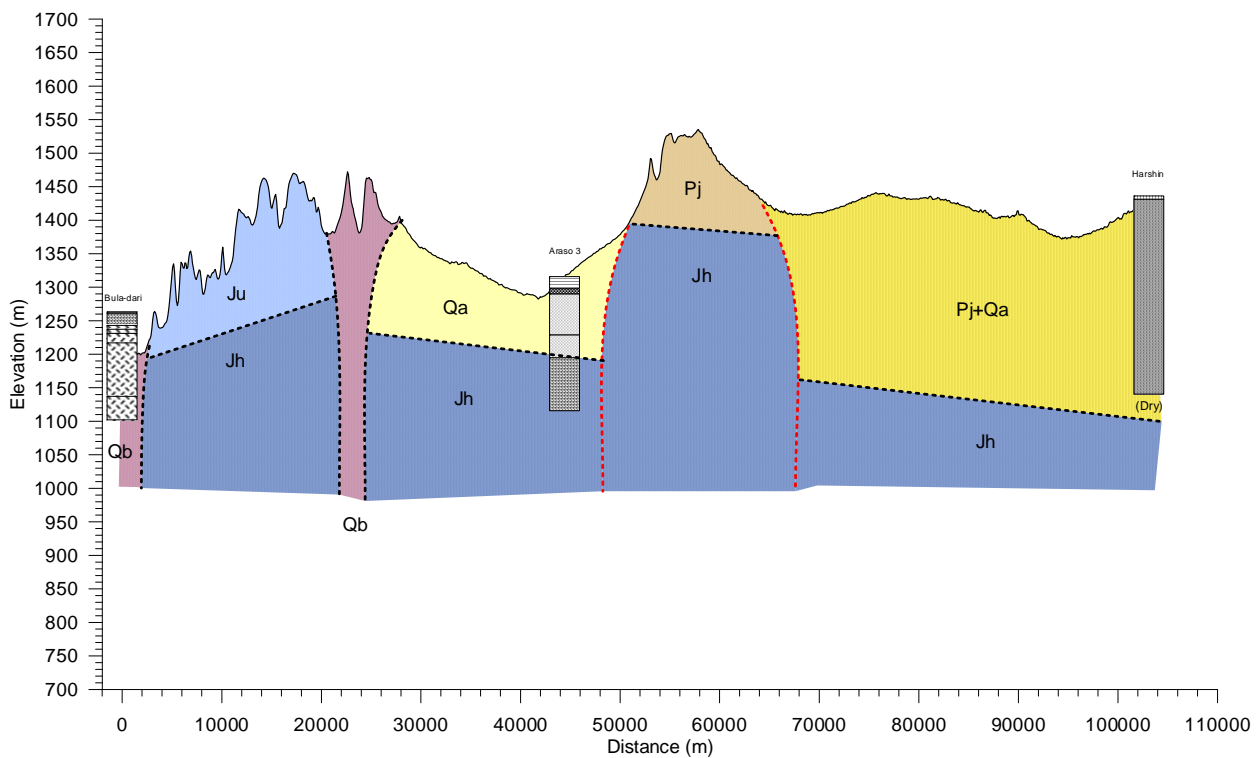


図 3.35: Araarso 郡の地形・地質断面図(河川を横断)

c. **Dagahbur woreda**

Dagahbur 郡の地形・地質区分図を図 3.33、地形・地質模式断面図を図 3.34及び図 3.36
に示す。

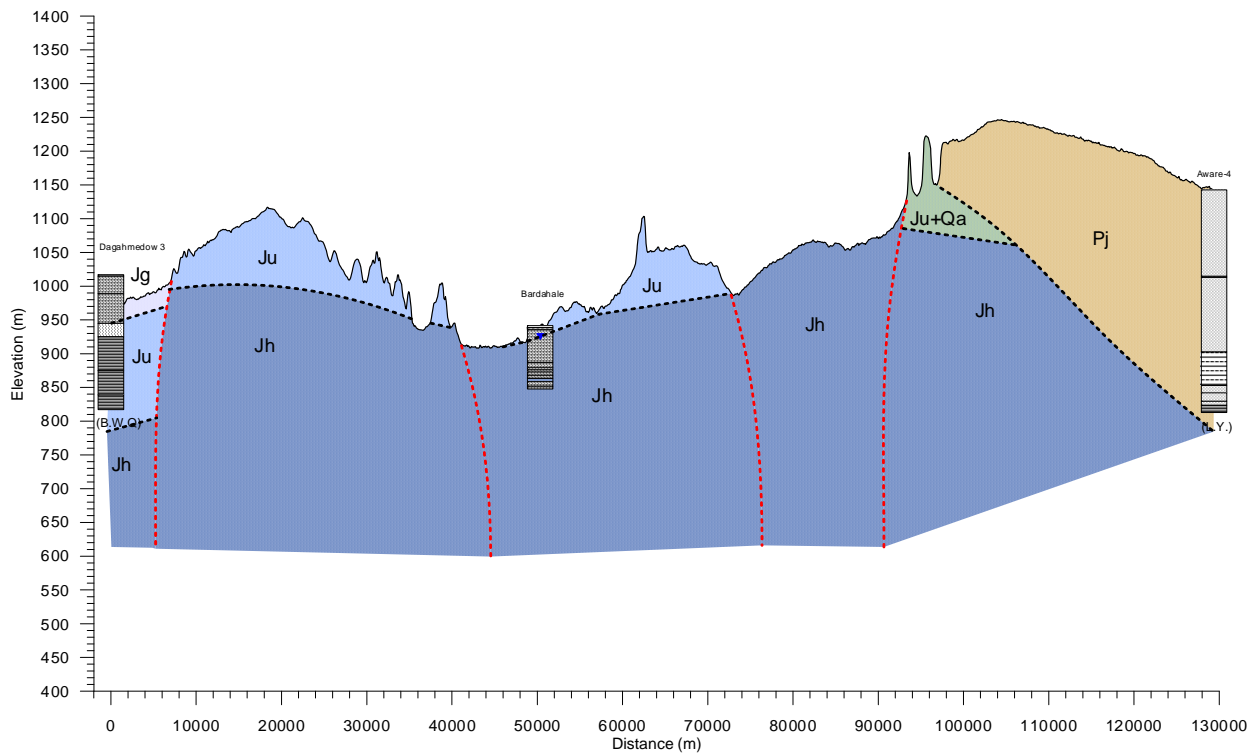


図 3.36: Dagahbur 郡の地形・地質断面図(河川を横断)

d. Birqod woreda

Birqod 郡の地形・地質区分図を図 3.33、地形・地質断面図を図 3.34及び図 3.37に示す。

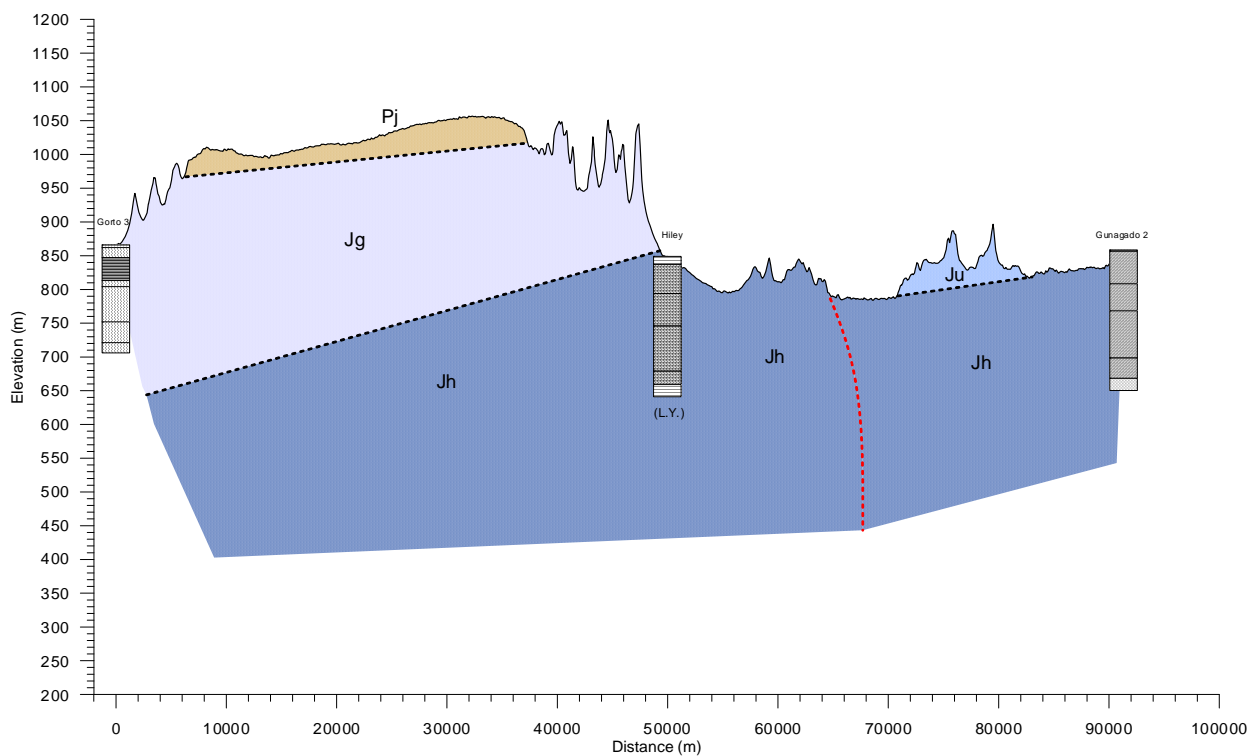
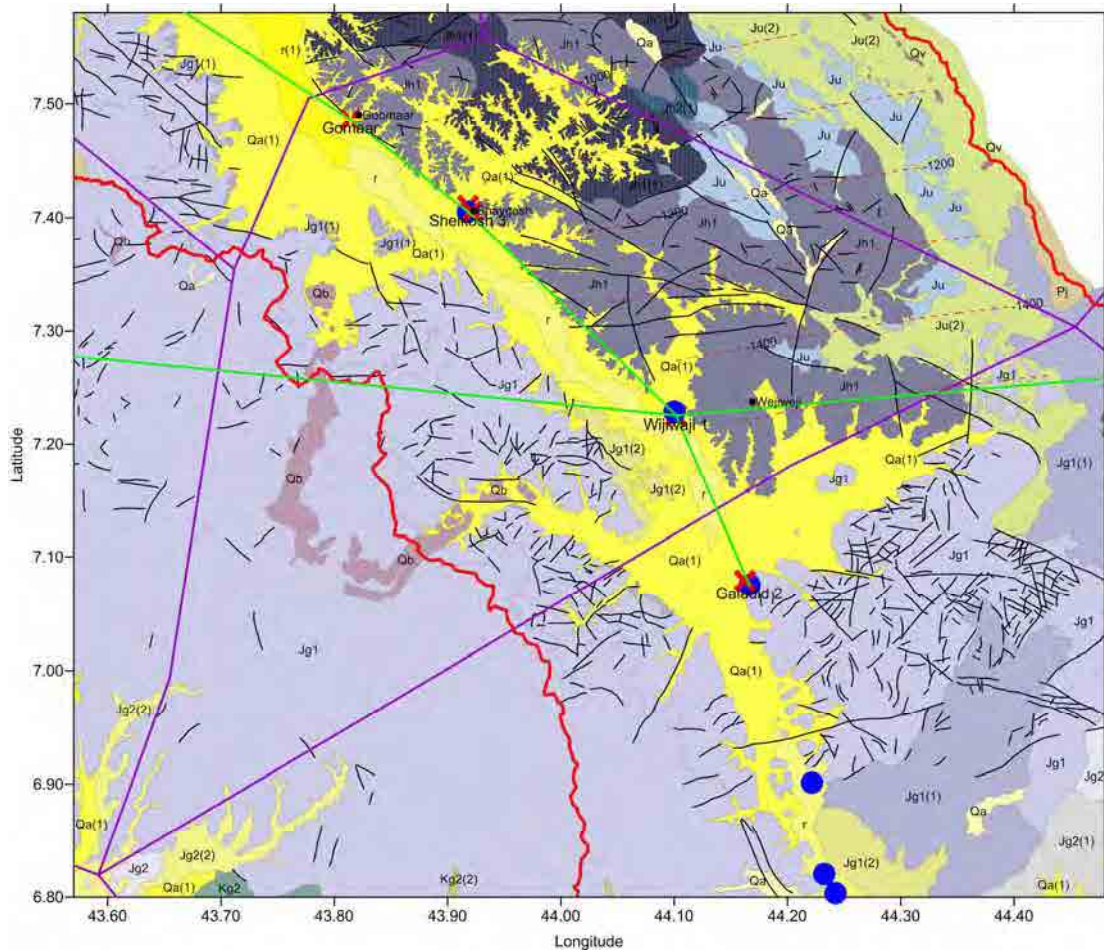


図 3.37: Birqod 郡の地形・地質断面図(河川を横断)

e. Shaygosh woreda

Shaygosh 郡の地形・地質区分図を図 3.38、地形・地質断面図を図 3.39及び図 3.40に示す。



(..... : Adigrat砂岩層上面深度分布、単位 : m(amsl))

図 3.38: Shaygosh 郡の地形・地質区分図

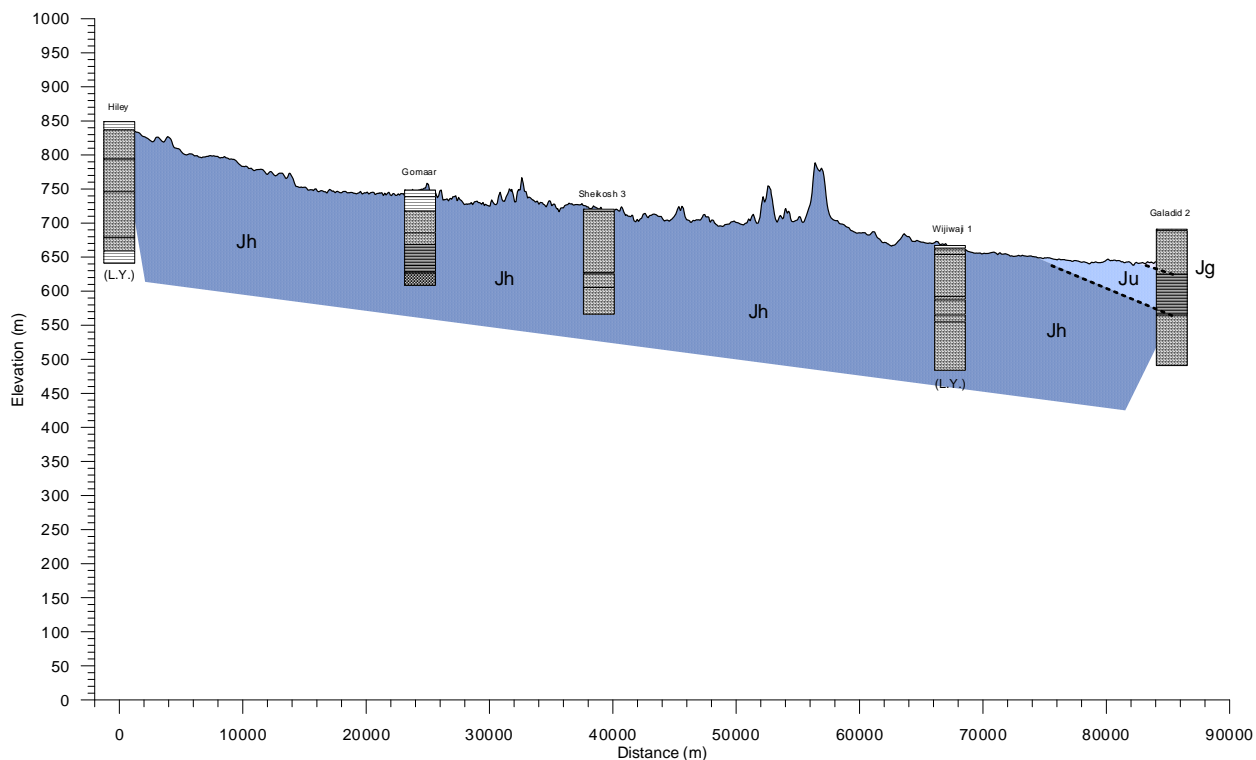


図 3.39: Shaygosh 郡の地形・地質断面図(河川に並行)

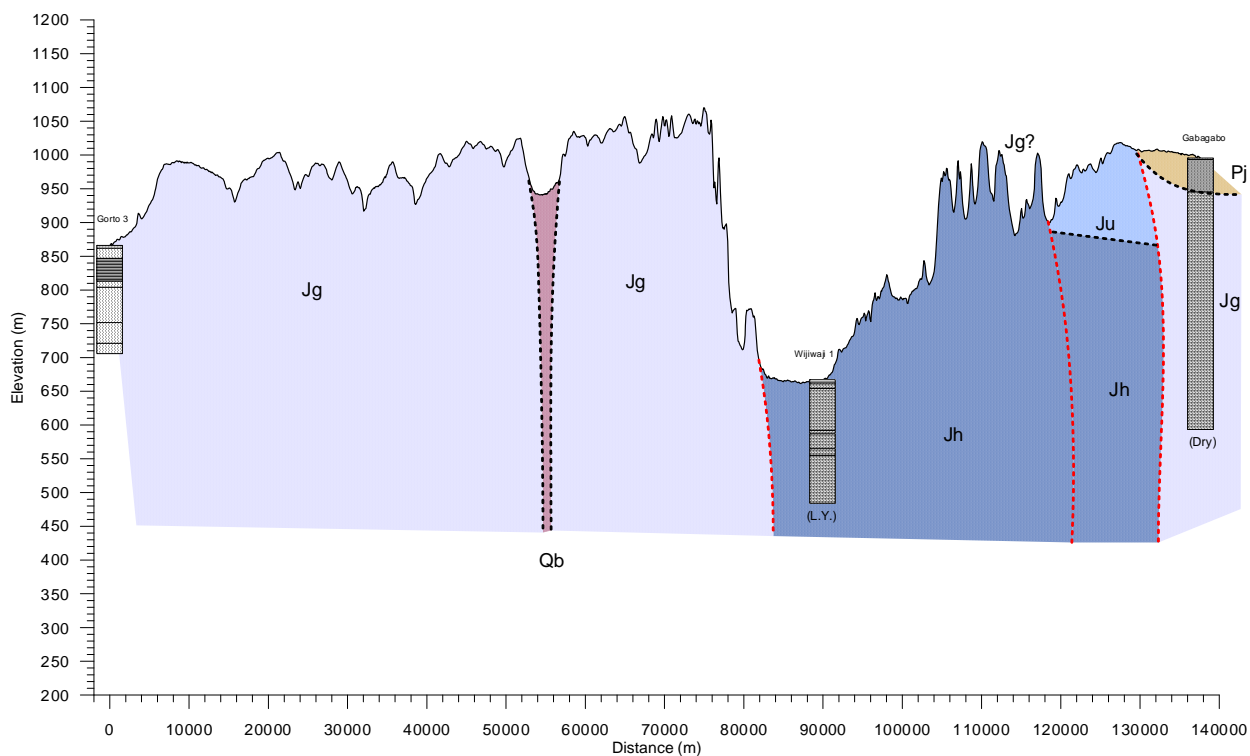


図 3.40: Shaygosh 郡の地形・地質断面図(河川を横断)

f. Kabridahar woreda

Kabridahar 郡の地形・地質区分図を図 3.41、地形・地質断面図を図 3.42から図 3.44に示す。

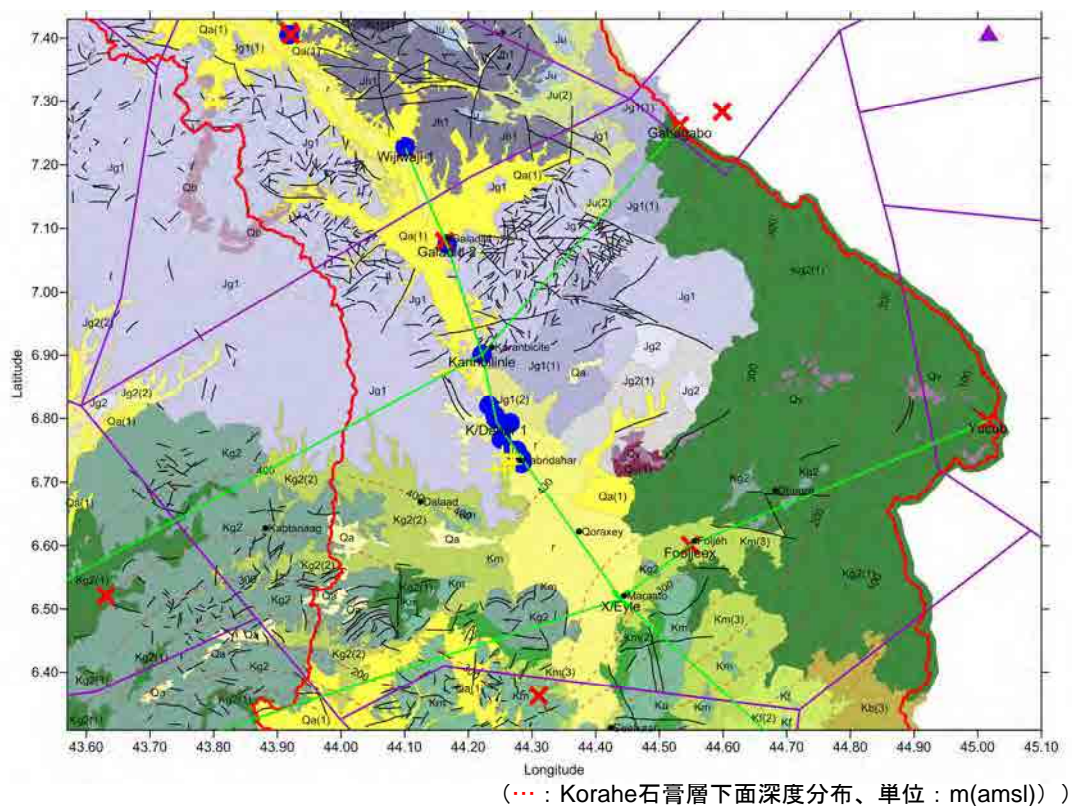


図 3.41: Kabridahar 郡の地形・地質区分図

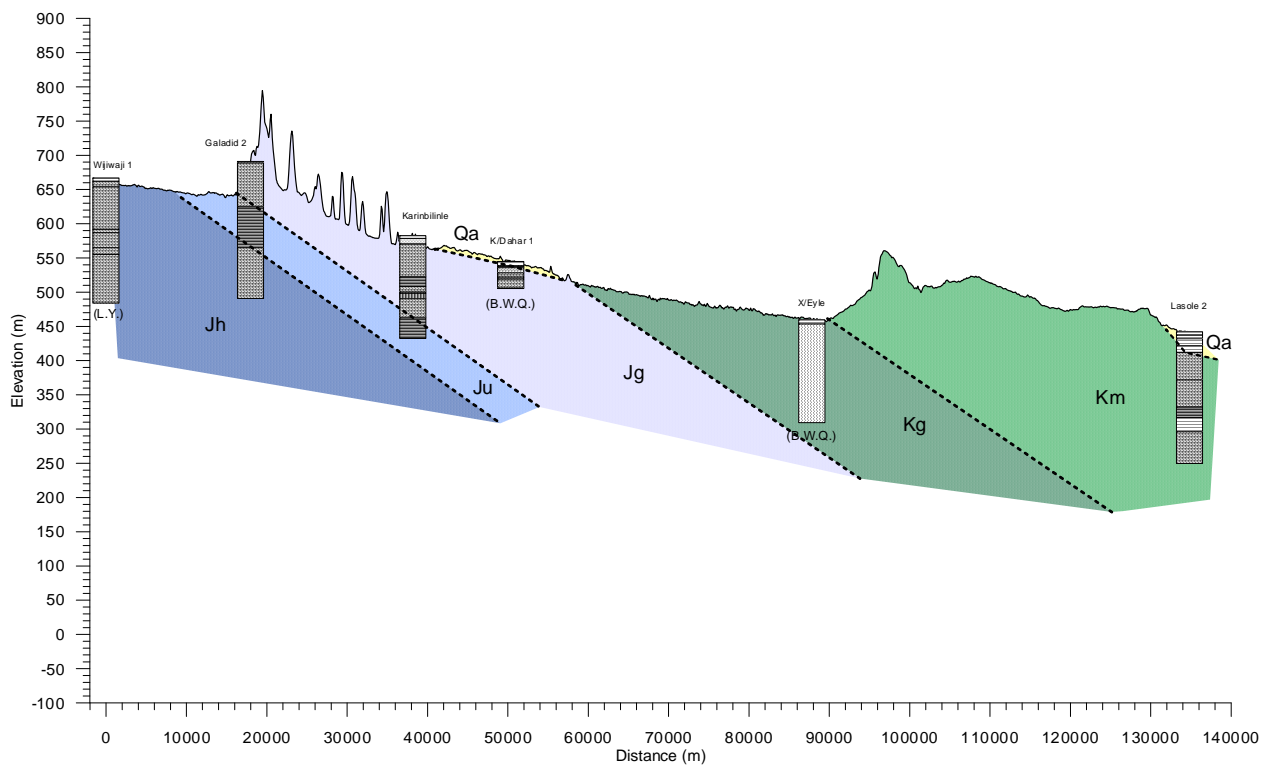


図 3.42: Kabridahar 郡の地形・地質断面図(河川に並行)

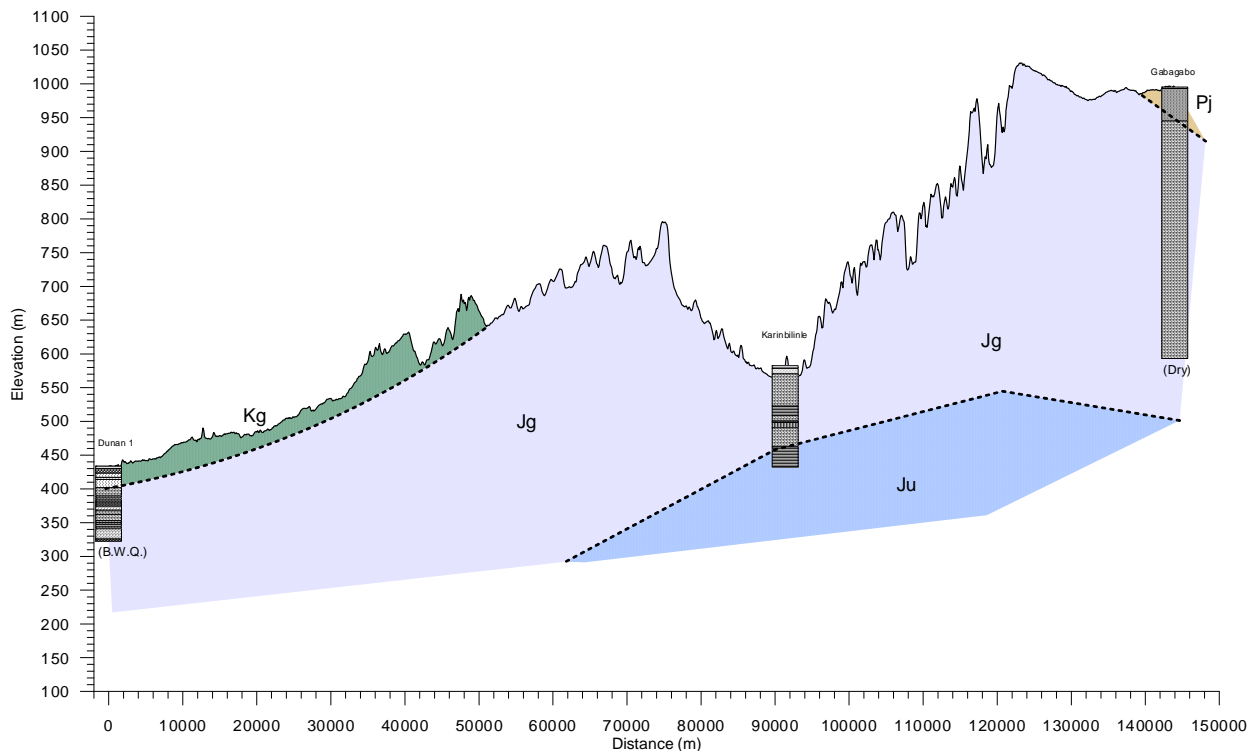


図 3.43: Kabridahar 郡の地形・地質断面図(河川を横断—北部)

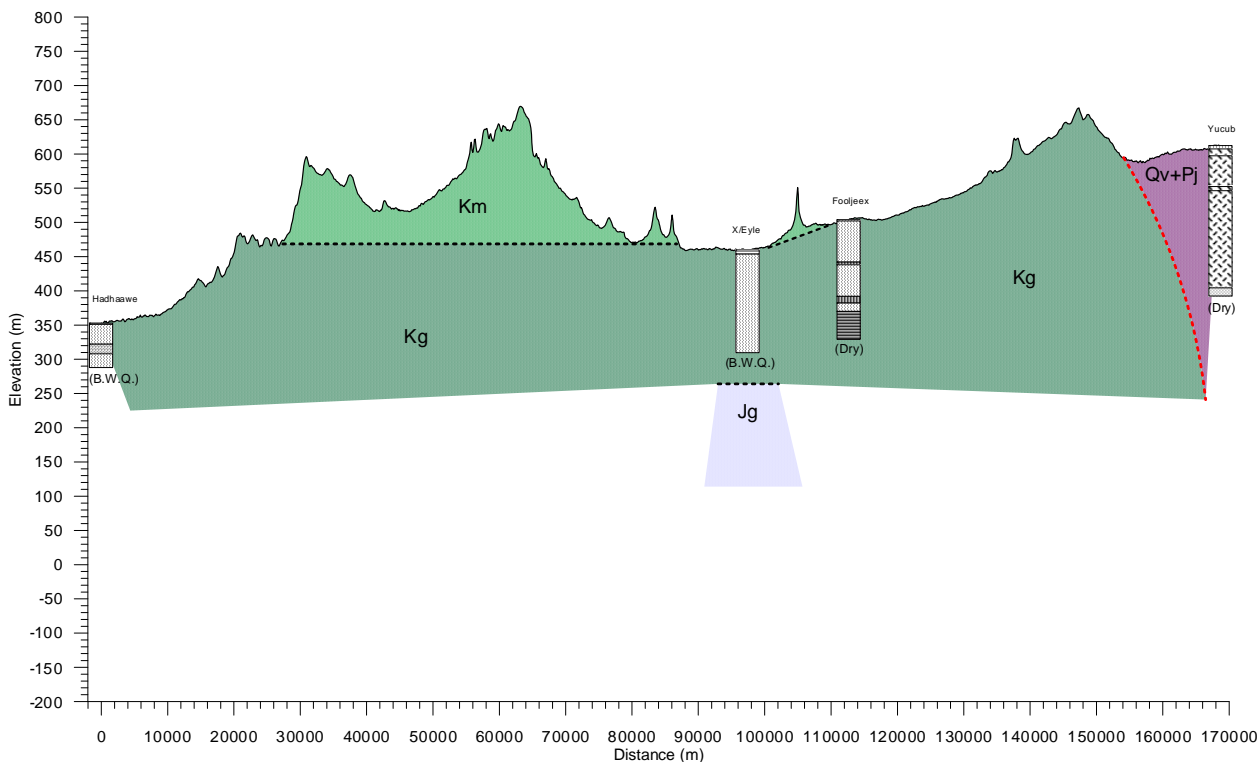


図 3.44: Kabridahar 郡の地形・地質断面図(河川を横断—南部)

g. **Doba wein woreda**

Doba wein 郡の地形・地質区分図を図 3.45、地形・地質断面図を図 3.46及び図 3.47に示す。

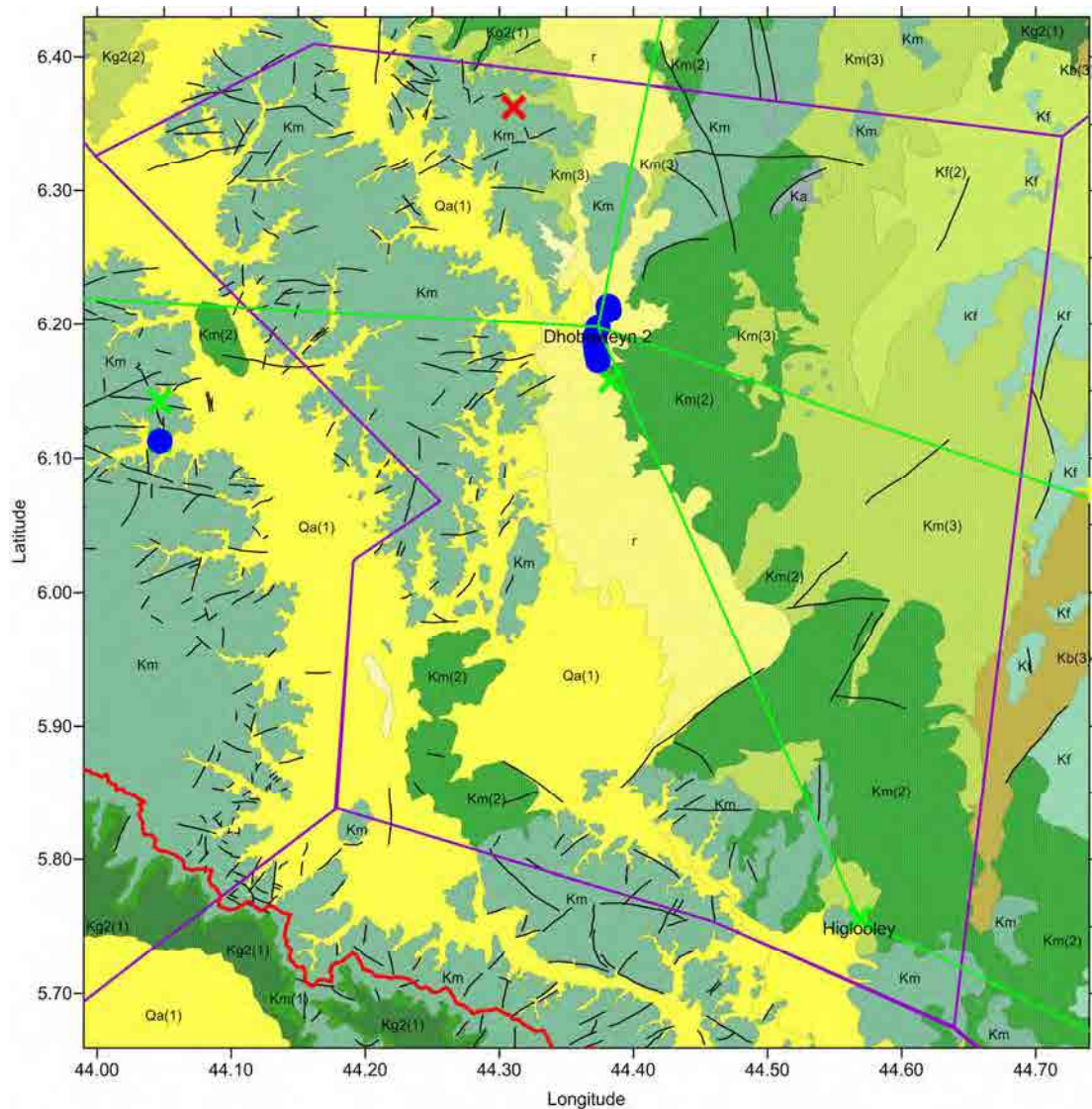


図 3.45: Doba wein 郡の地形・地質区分図

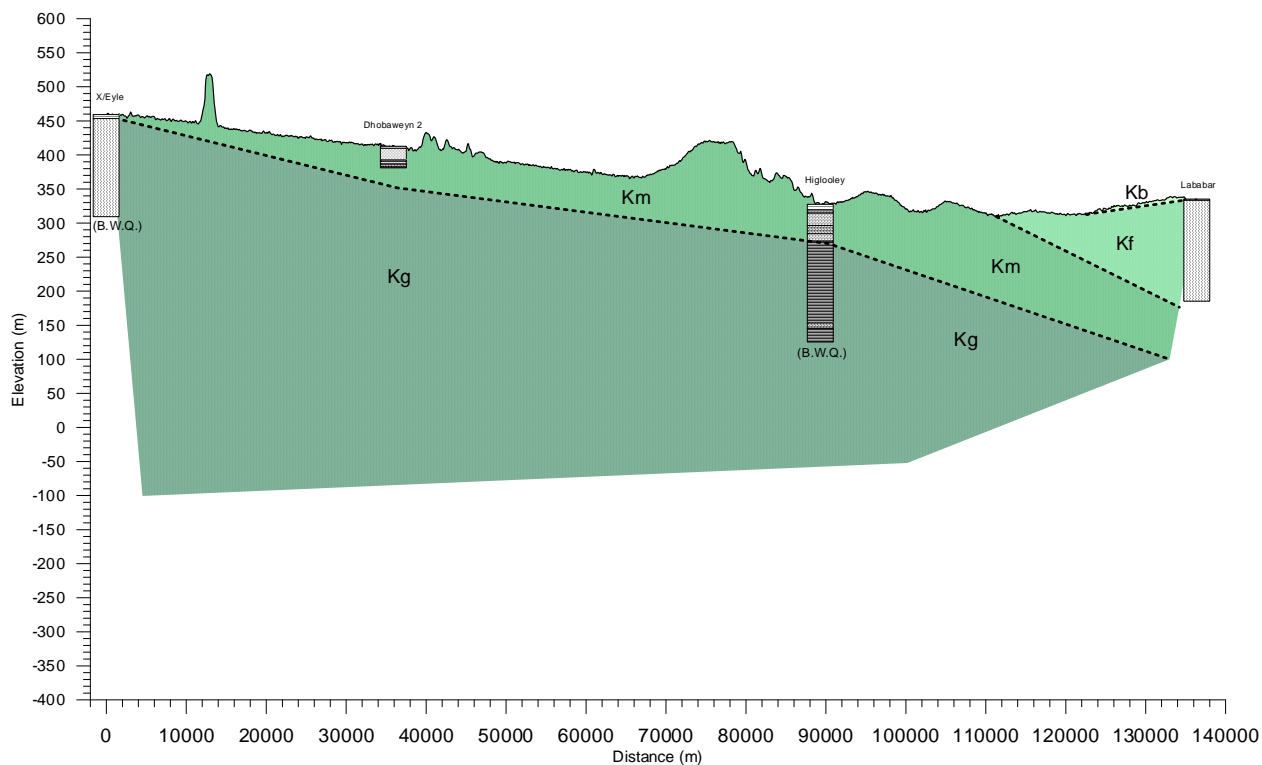


図 3.46: Doba wein 郡の地形・地質断面図(河川に並行)

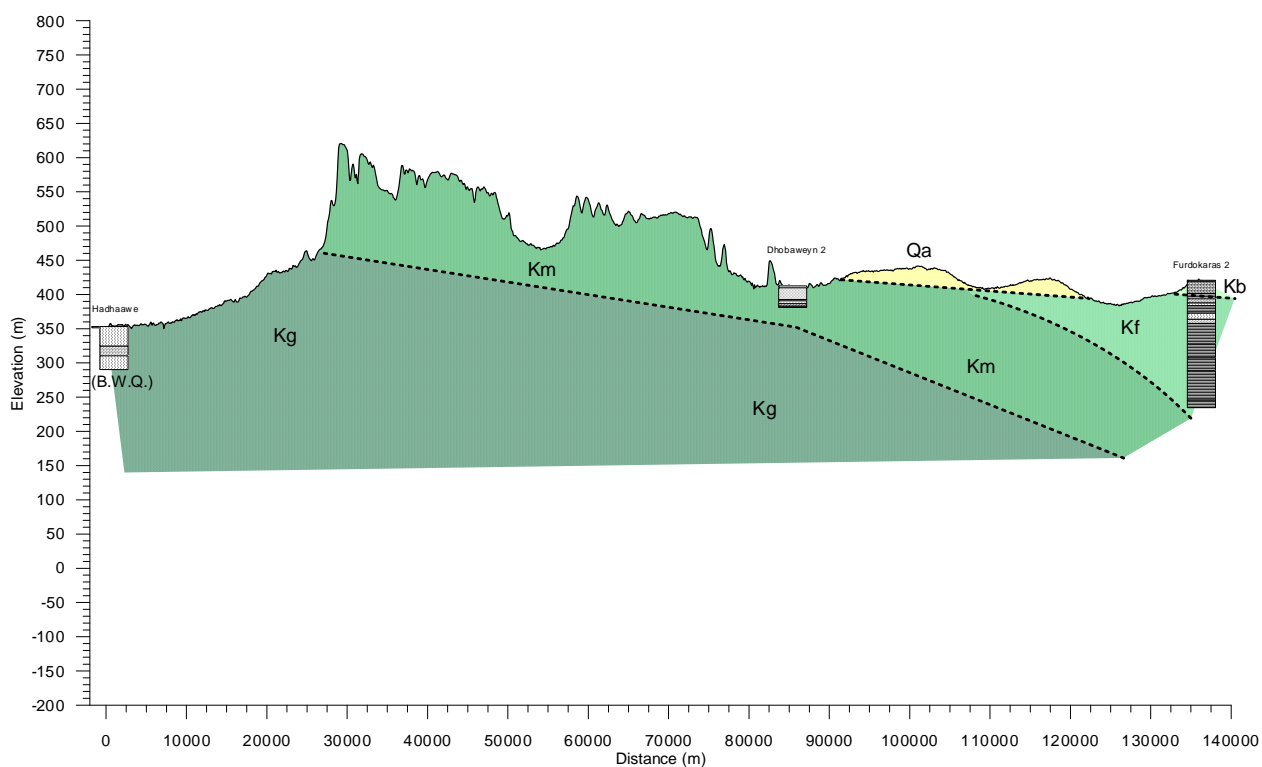


図 3.47: Doba wein 郡の地形・地質断面図(河川を横断)

3.3.2 シェベレ川支流域

a. Rasso worda

Rasso 郡の地形・地質区分図を図 3.48に示す。

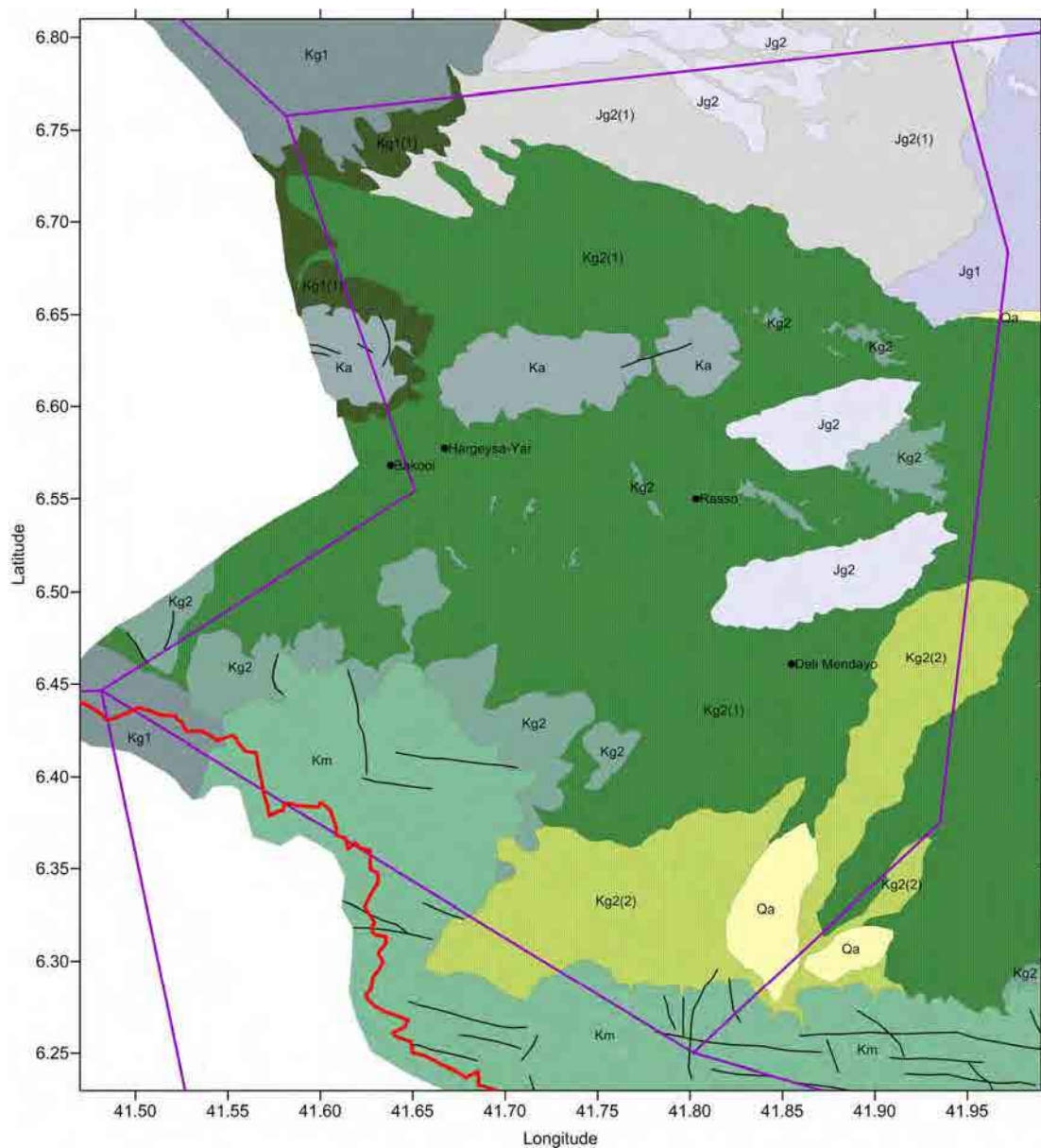


図 3.48: Rasso 郡の地形・地質区分図

b. West Ime worda

West Ime 郡の地形・地質区分図を図 3.49に示す。

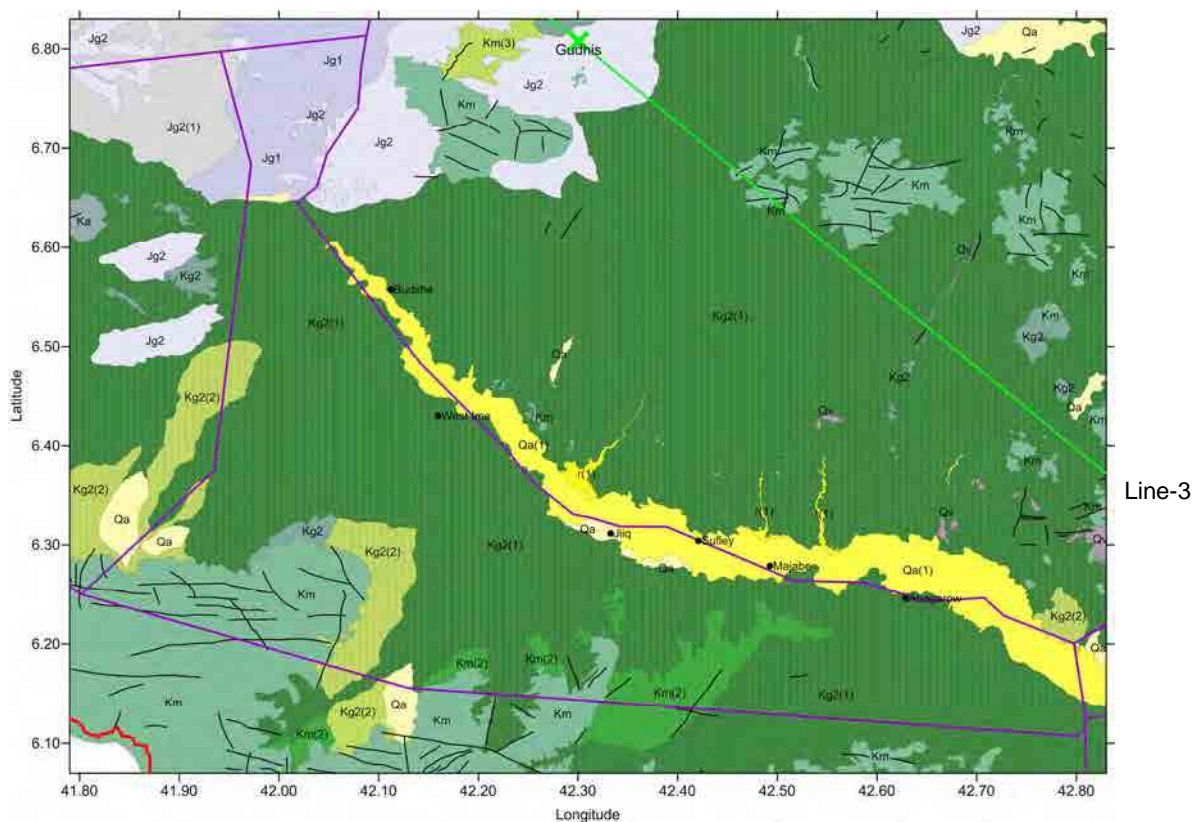


図 3.49: West Ime 郡の地形・地質区分図

c. East Ime woreda

East Ime 郡の地形・地質区分図を図 3.50に示す。

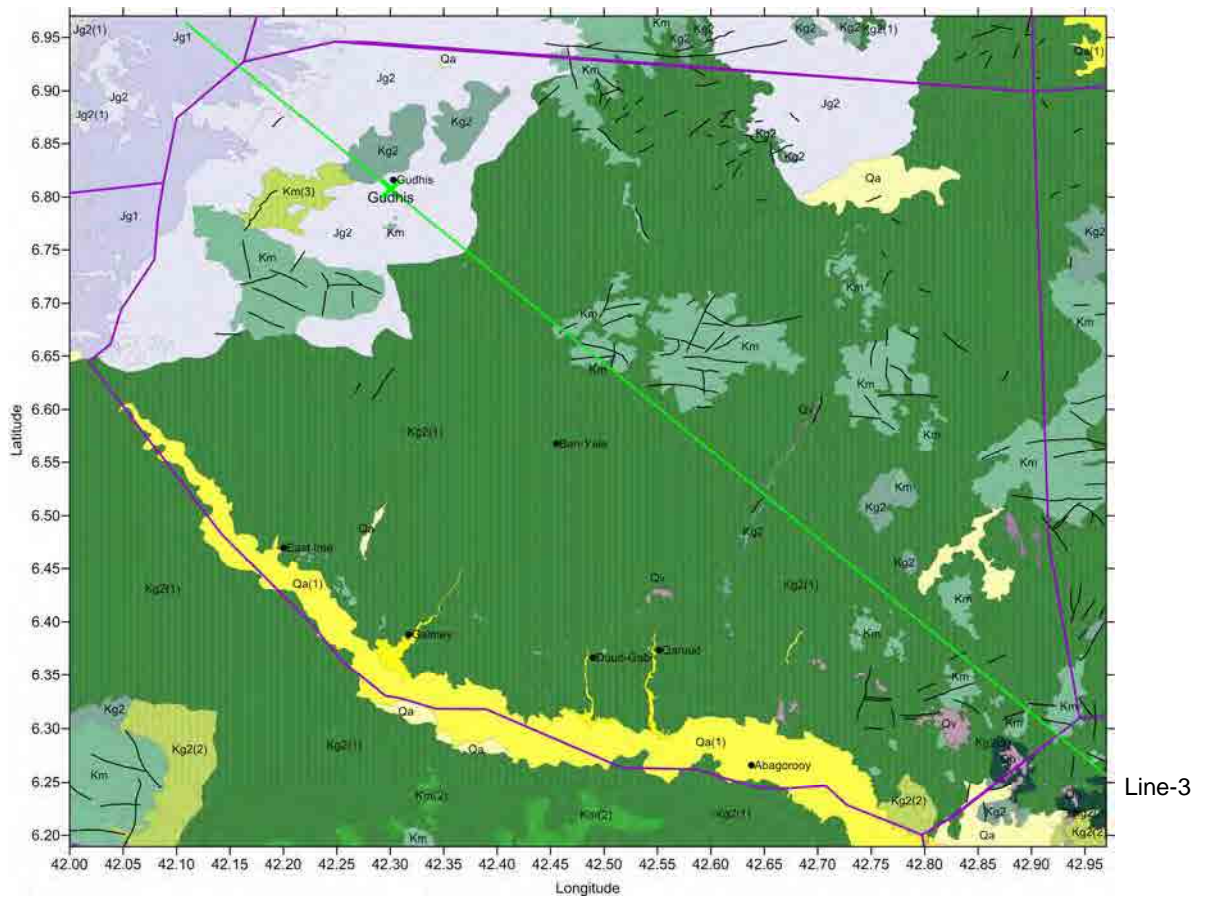


図 3.50: East Ime 郡の地形・地質区分図

e. Danan worda

Danan 郡の地形・地質区分図を図 3.52に示す。

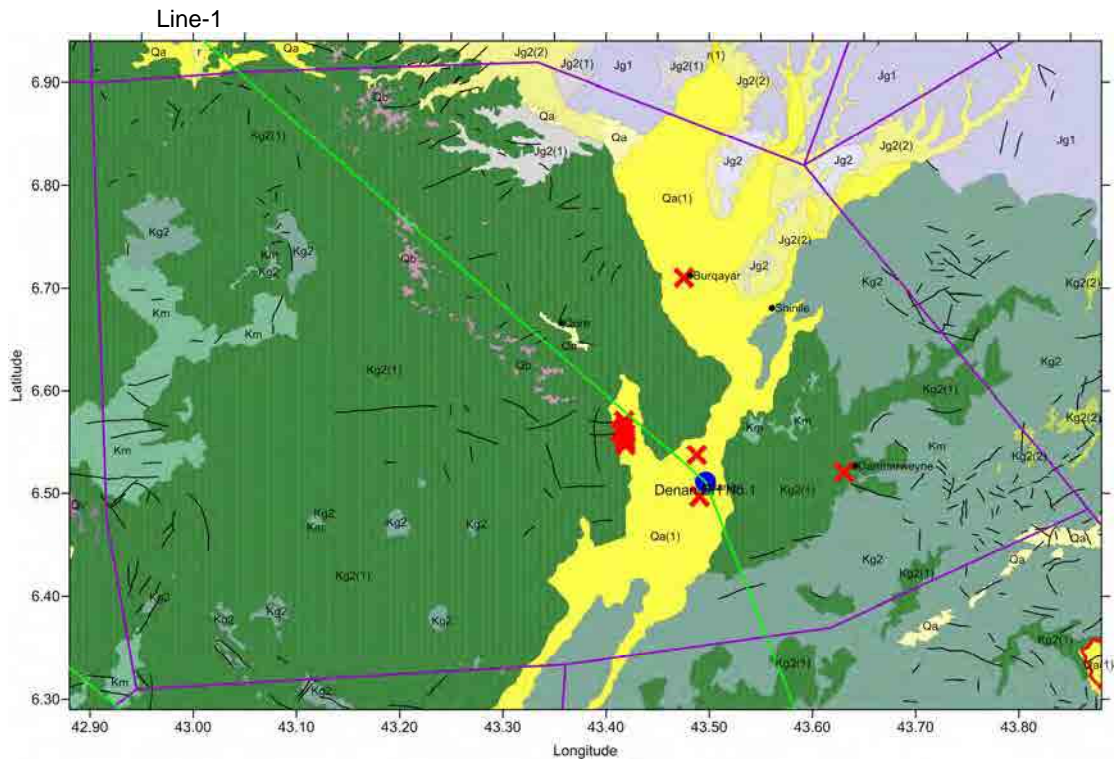


図 3.52: Danan 郡の地形・地質区分図

f. Godey worda

Godey 郡の地形・地質区分図を図 3.53に示す。

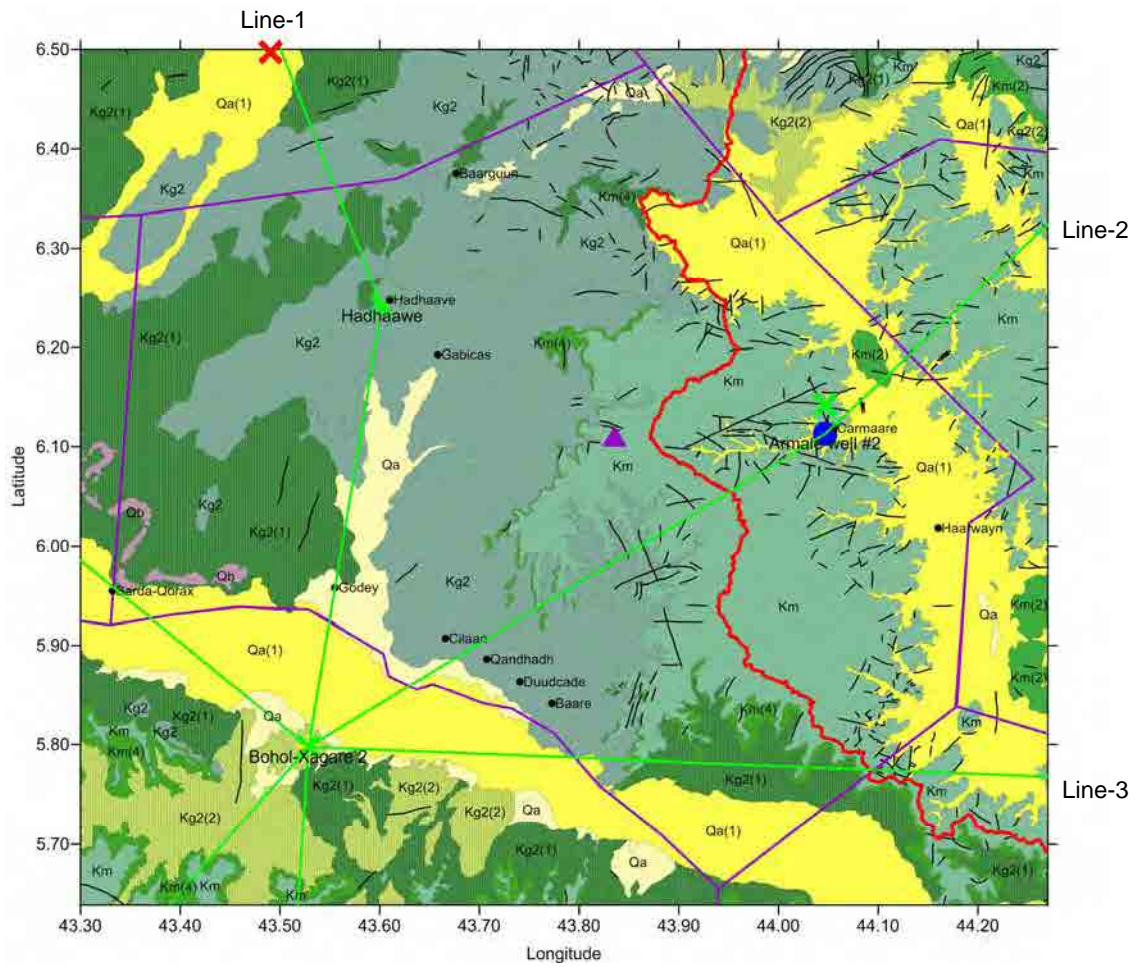


図 3.53: Godey 郡の地形・地質区分図

g. **Beercaano woreda**

Beercaano 郡の地形・地質区分図を図 3.54に示す。

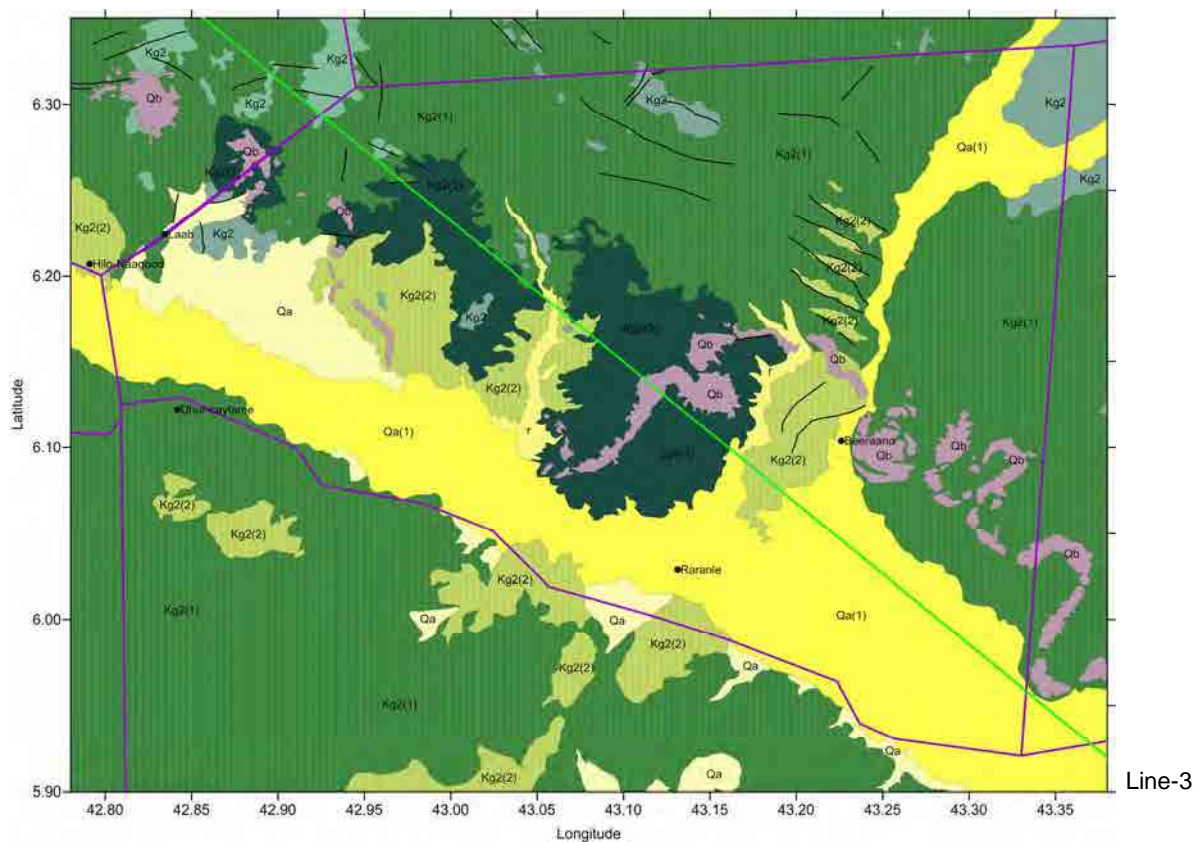


図 3.54: Beercaano 郡の地形・地質区分図

h. Kalafo woreda

Kalafo 郡の地形・地質区分図を図 3.55に示す。

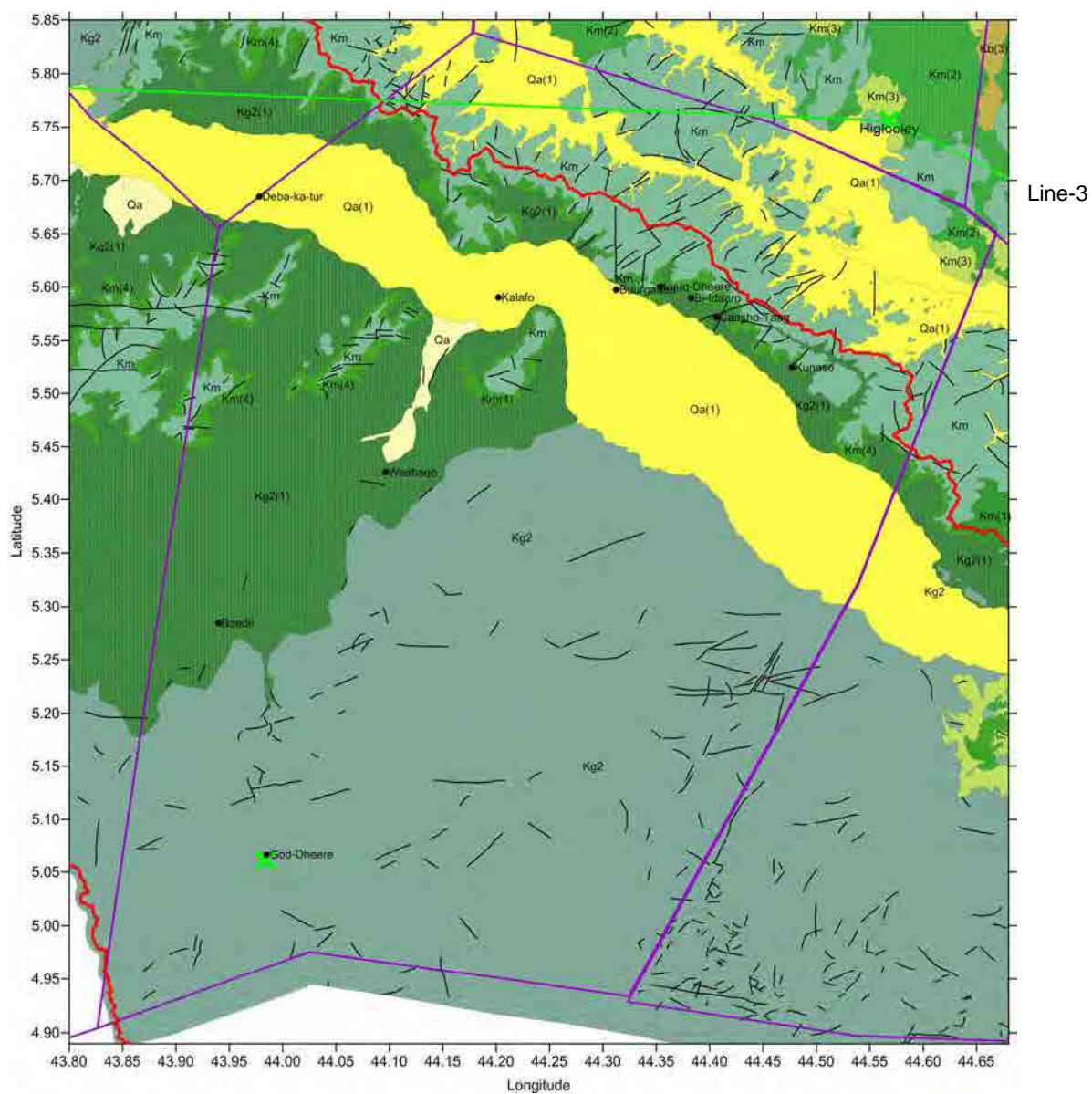


図 3.55: Kalafo 郡の地形・地質区分図

i. Mustahil woreda

Mustahil 郡の地形・地質区分図を図 3.56に示す。

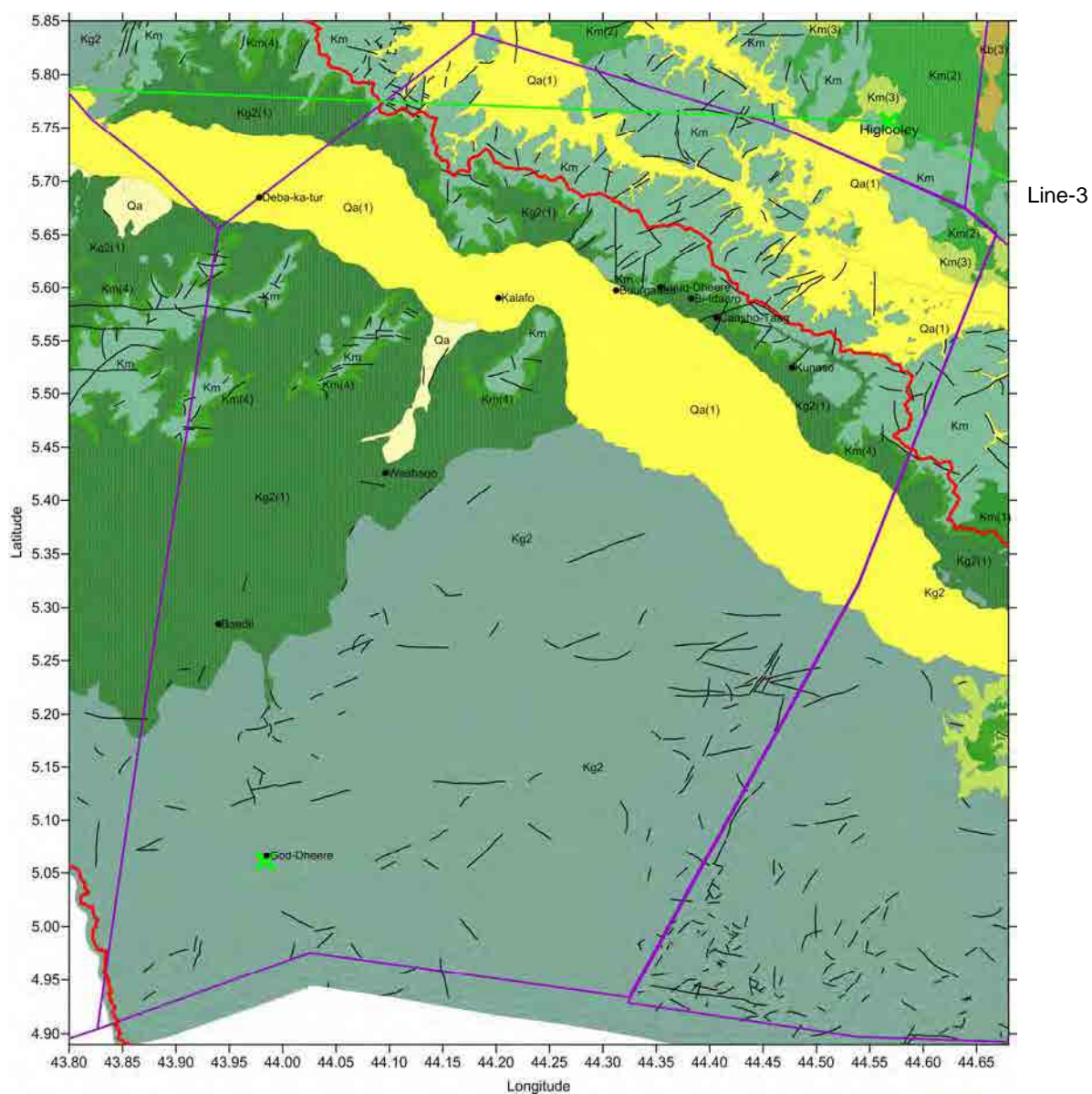


図 3.56: Mustahil 郡の地形・地質区分図

j. 地形・地質断面図

シェベレ川支流域において、図 3.57に示す 3 測線の地下水利用可能性評価断面図（図 3.58から図 3.60）を作成した。

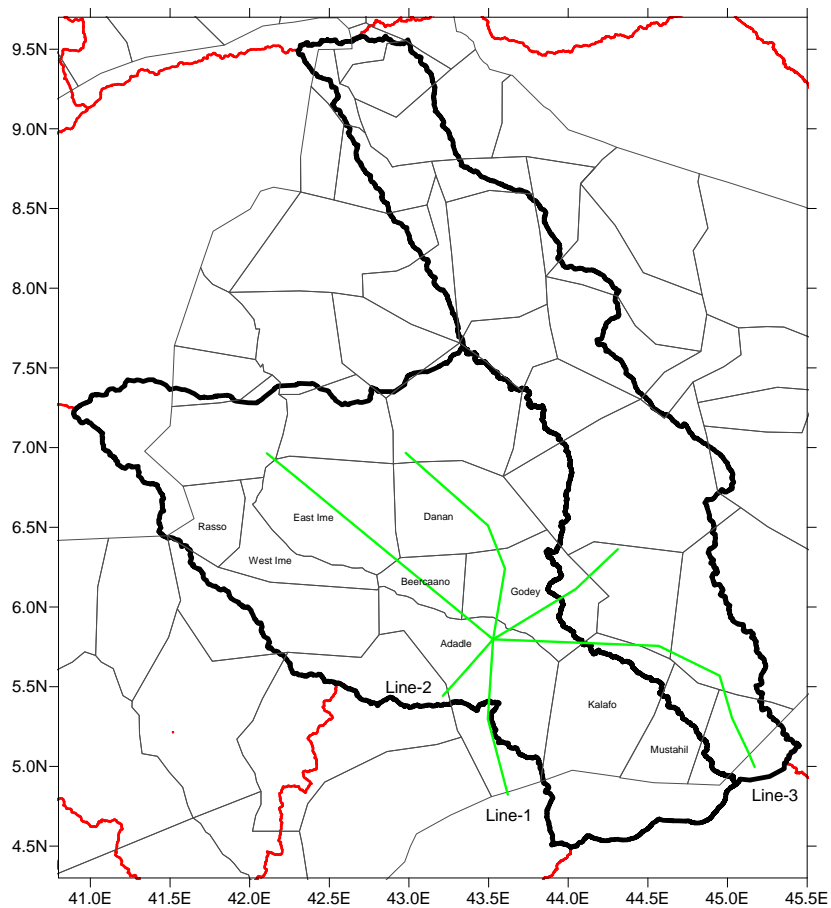


図 3.57: シェベレ川支流の地形・地質断面線位置図

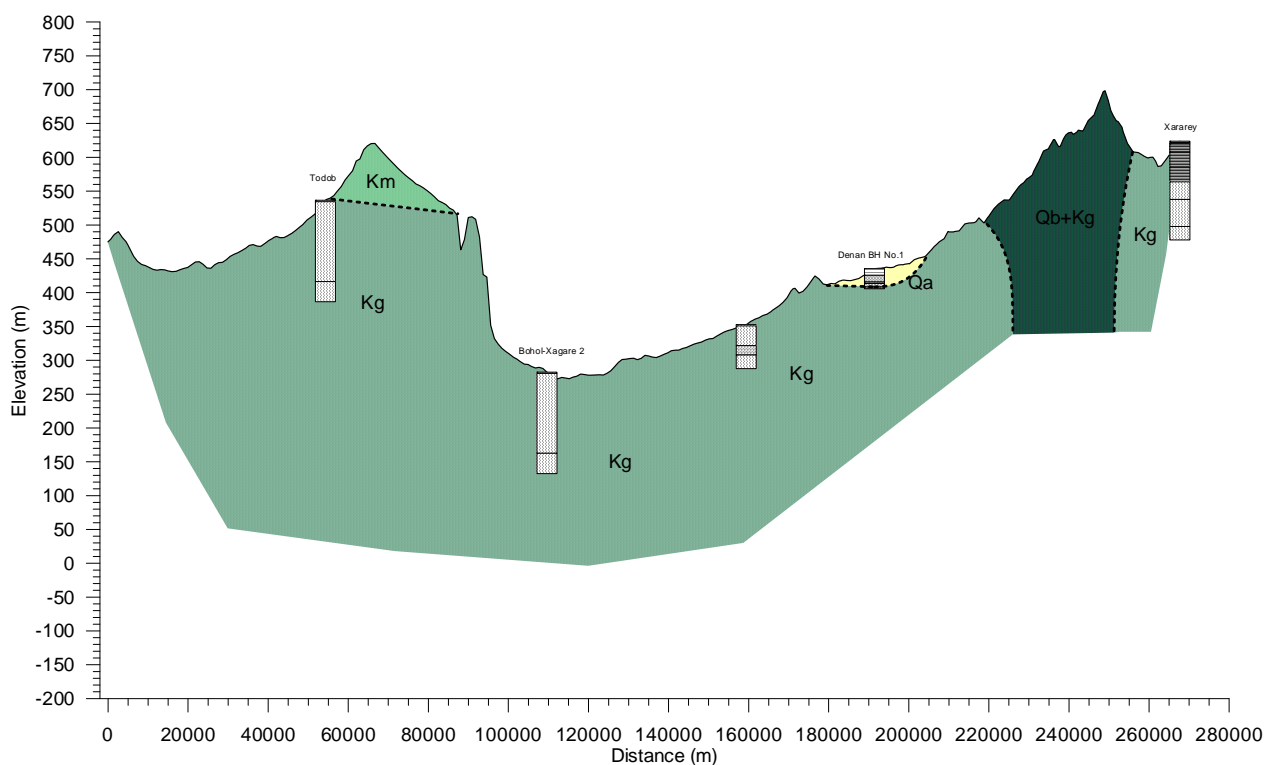


図 3.58: シェベレ川支流の地形・地質断面図(Line-1)

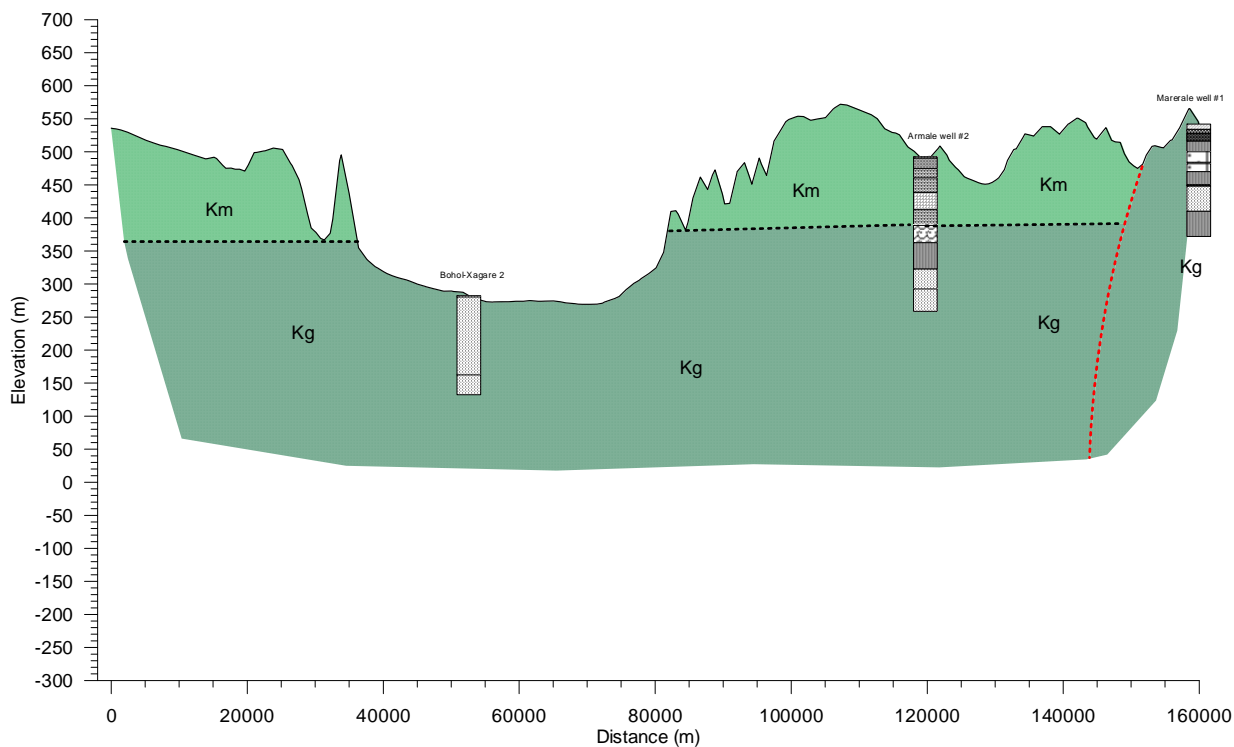


図 3.59: シエベレ川支流の地形・地質断面図(Line-2)

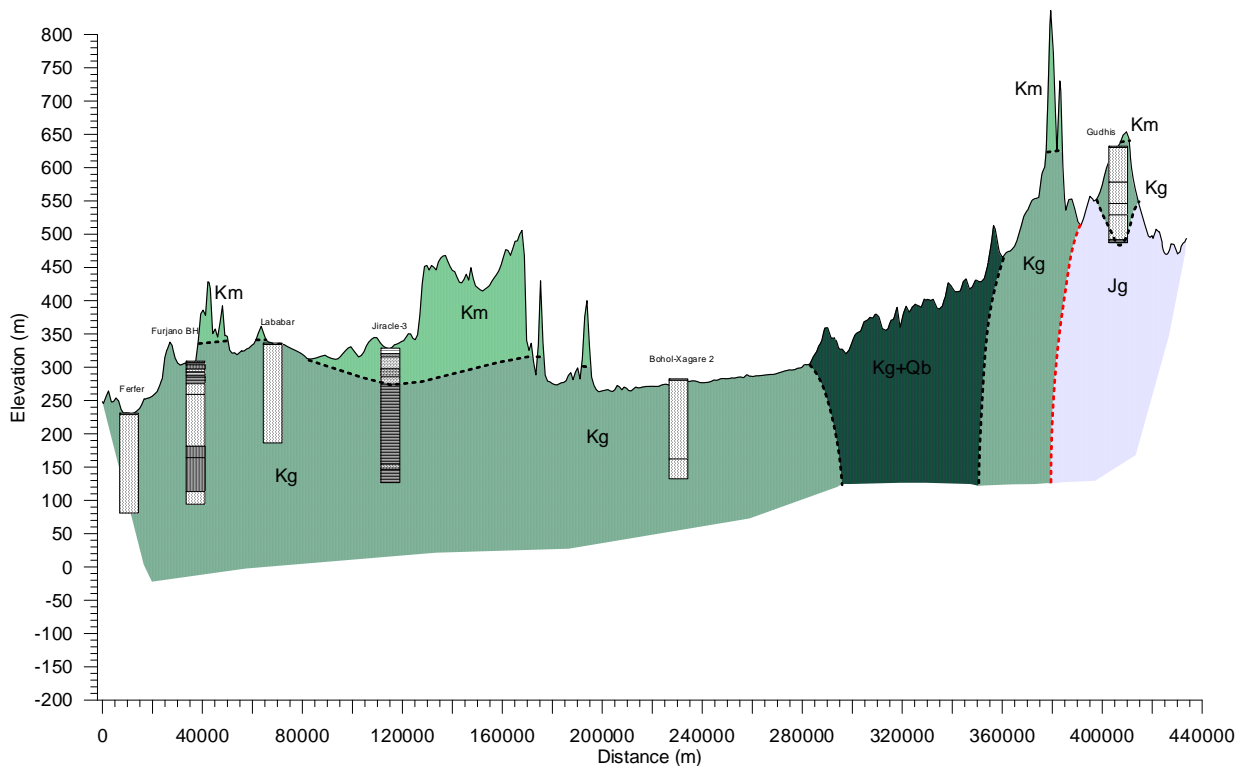


図 3.60: シエベレ川支流の地形・地質断面図(Line-3)

3.4 参考文献

1. AQUATECH (AB) Pvt. Ltd. (1999): Technical Proposal to Conduct Hydrological & Hydrogeological Studies, The Nine Zones of the Somali Region.
2. Awulachew, S. B. Yilma, A. D. Loulseged, M. Loiskandl, W., Ayana, M. and Alamirew, T. (2007): Water Resources and Irrigation Development in Ethiopia.
3. BEICP (1985): Geological Map of the Ogaden and Surrounding Area. Ministry of Mines and Energy, Addis Ababa.
4. Blanford, W.T. (1870): Observations on the Geology and Zoology of Abyssinia. London, MacMila.
5. British Geological Survey (2001): Groundwater Quality: Ethiopia, NERC (Natural Environment Research Council) 2001.
6. Dainelli G. (1943): Geologia dell’Africa Orientale. Four volumes., R. Acc. d’Italia, Centro Studi per l’Africa Orientale Italian Roma.
7. Haro, W. (2010): The Geology of Harar Area (Haro, 2010). Memoir 21, Ministry of Mines, Geological Survey of Ethiopia.
8. Kazmin, V. (1972): Geological Map of Ethiopia (1:2,000,000). Printed by Hunting Surveys Ltd. London. EIGS, Addis Ababa, Ethiopia.
9. Kazmin, V. (1975): Explanation of the Geological Map of Ethiopia, Bull No.1 Eigs, Addis Ababa.
10. Mehari, K. (2011): Geology and Geomorphology of Shinile Zone and adjoining Areas. OROMIA WATER WORKS DESIGN & SUPERVISION ENTERPRISE (OWWDSE) Somali Region Project Office.
11. Merla, G., Abbate, E., Canuti, P., Sagri, M. and Tacconi, P. (1973): Geological Map of Ethiopia and Somalia (1:2,000,000). Consiglio National Delle Ricerche, Florence, Italy.
12. Merla, G., Abbate, E., Azzaroli, A., Bruni, P., Canuti, P., Fazzuoli, M., Sagri, M. And Tacconi, P. (1979): A Geological Map of Ethiopia and Somalia (1973) 1:2,000,000 and Comment with a Map of Major Landforms. Department of Geology and Paleontology, University of Florence, Italy.
13. Mohr, P. A. (1963): The Geology of Ethiopia. Addis Ababa University Press, Ethiopia.

14. NWRC (National Water Resources Commission) (1972): Ethiopia-France cooperation Program, Wabi Shebelle Survey, Geological Map of the Wabi Shebelle basin (1:1,000,000 and 1/250,000).
15. Pandey, S. N. (1987): Principles and Applications of PHOTOGEOLOGY, JOHN WILEY & SONS, p366.
16. SHAAC Engineering Consulting plc. (2009): Hydrogeological Mapping Project, Report.
17. SHAAC Engineering Consulting plc. (2011): Site hydrogeological Investigation, Jarar valley Area, Final report, UNHCR.
18. SHAAC Engineering Consulting plc. (2012): Water Quality Survey, Final Report.
19. Swartz, D. H. and Arden, D. D. Jr. (1960): Geologic History of Red Sea Area, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., V. 44.
20. Tamiru, A. (2006): Groundwater Occurrence in Ethiopia, Addis Ababa University, Ethiopia.
21. Tefera, M., Chernet, T. and Haro, W. (1996): Geological Map Of Ethiopia (1:2,000,000). 2nd edition. Ethiopian Institute of Geological Survey.
22. UNESCO (2012): Geological Map (1:250,000). Baseline Survey of Groundwater Resources in Somali Region State and Adjacent Regions.
23. Water Works Design and Supervision Enterprise in Association with Somali Design and Supervision Works Enterprise (2012): Fafem – Jerar Sub Basins and the Adjacent Eastern Areas Groundwater Potential Assessment and Supervision of Test and Pilot Production Wells Drilling Project, Inception Report (Final), Ministry of Agriculture, Ethiopia.
24. Wolela, A (2008): Sedimentation of the Triassic–Jurassic Adigrat Sandstone Formation, Blue Nile (Abay) Basin, Ethiopia. Journal of African Earth Sciences, Vol. 52.
25. WWDSE (2004): Wabi Shebele River Basin Integrated Development Master Plan Study Project, Final Report, Phase II – Data Collection, Site Investigation, Survey & Analysis, Section II Sectoral Studies, Volume 1 – Natural Resources, Part 1 – Geology.
26. Yihune and Haro, 2010: Geological Map of Harar Area (NC38-9). Geological Survey of Ethiopia, Addis Ababa, Ethiopia.

4. 水理地質

4 水理地質

4.1 水理地質データの収集

4.1.1 既存研究とマッピング

Ministry of Agriculture (2012)¹⁶⁾によると、ソマリ州では水理地質調査はあまり行なわれていない。また、表 4.1に示すように、水理地質調査を3分類している。

表 4.1: ソマリ州で実施された水理地質調査の主な例

i)	大都市や大規模村落を対象にした給水のための水理地質調査 例： <ul style="list-style-type: none"> • Water supply source verification of Jijiga, Warder and Filtu zonal administration towns; draft report, Water Mines and Energy Resources Development Bureau, Somali National State, 2002¹⁴⁾ • Alternative water source investigation of 26 sites in Dhagahbur, Warder and Fik zones, SRS of Ethiopia, Final report, SHAAC Engineering Consulting plc, 2009⁶⁾ • Hydrogeological investigation of 19 sites in Gode, Afder, Liban, Dhagahbur, Korahe, and Warder zones, SRS of Ethiopia, UNICEF, Final draft report, SHAAC Engineering Consulting plc, 2011⁸⁾ • Site hydrogeological investigation, Jarar valley area, Final report, UNHCR, SHAAC Engineering Consulting plc, 2011⁹⁾
ii)	井戸掘削記録 例： <ul style="list-style-type: none"> • Final drilling report of Hadow boreholes; Drilling project well No-1, Water Works Construction Enterprise, Somali Regional State, 2007¹⁵⁾ • Final drilling report of Fafan (Golo Ajo) boreholes; Drilling report of Well No-1 and No-2; Water Works Construction Enterprise, Somali Regional State, 2007¹⁶⁾ • Fafan integrated development project, Water resources development subproject; Well completion report final of 4 boreholes in Kobijara, Hillini Water Well Drilling Company plc, 2011³⁾
iii)	広域的な水理地質調査 例： <ul style="list-style-type: none"> • Wabi Shebelle river basin integrated master plan, Volume VII Water resources, Part 3 Hydrogeology, WWDSE, 2004⁹⁾ • Hydrogeological mapping project report, UNICEF, SHAAC Engineering Consulting plc, 2009¹⁸⁾

公表された広域的な水理地質図は、次のエチオピア全土を対象にした水理地質図のみである。

- Hydrogeological map of Ethiopia (1:2,000,000) compiled by Tesfaye Chernet and the Regional Geology Department, Ethiopian Institute of Geological Survey, 1988¹³⁾

4.1.2 既存井戸のデータ

既存井戸のデータとして、①ソマリ州水資源局（Somali Regional Water Development Bureau : SRWDB）保有の台帳、②既存報告書に掲載されている井戸、③井戸掘削記録・井戸柱状図、を収集した。

① ソマリ州水資源局保有台帳：

- ソマリ州水供給台帳データベースのデータ（2002年）
- ボアホール（BH、SW）リスト1（作成年不明）

- ボアホール（BH、SW）リスト 2（作成年不明）
- 水源（BH、SW、Spring）リスト（作成年不明）
- 地下水位リスト（作成年不明）

② 既存報告書に掲載されている井戸：

- Scheme Assessment Mapping Project Final Report (SHAAC, 2008)⁵⁾
- Hydrogeological Mapping Project Report (SHAAC, 2009)⁷⁾ など

③ 井戸掘削記録・井戸柱状図：

- UNHCR 保有データ
- 地元コンサルタント保有データ
- その他機関保有データ

上記のデータを整理して作成した井戸掘削台帳の例（ジャラル溪谷の給水計画 M/P 作成対象郡）を第 4.5 節に示す。この井戸掘削台帳には以下の項目を含んでいる。

- 仮 ID
- 県、郡
- 経度、緯度
- UTM（X 座標、Y 座標）
- 標高
- 井戸タイプ（BH、SW、other）
- 井戸深度
- 静水位
- 動水位
- 湧出量
- 掘削年
- 掘削者
- 状況（掘削時）
- 井戸柱状図の有無

柱状図データが得られた井戸（図 4.1）に関しては、添付資料に示すような井戸柱状図を作成・整理した。層相の記載は基データの記述に従ったが、層相の特徴、上下の地層や掘削地点に基づいて推定した各層が属する地層（累層レベル）の名称を追加している。

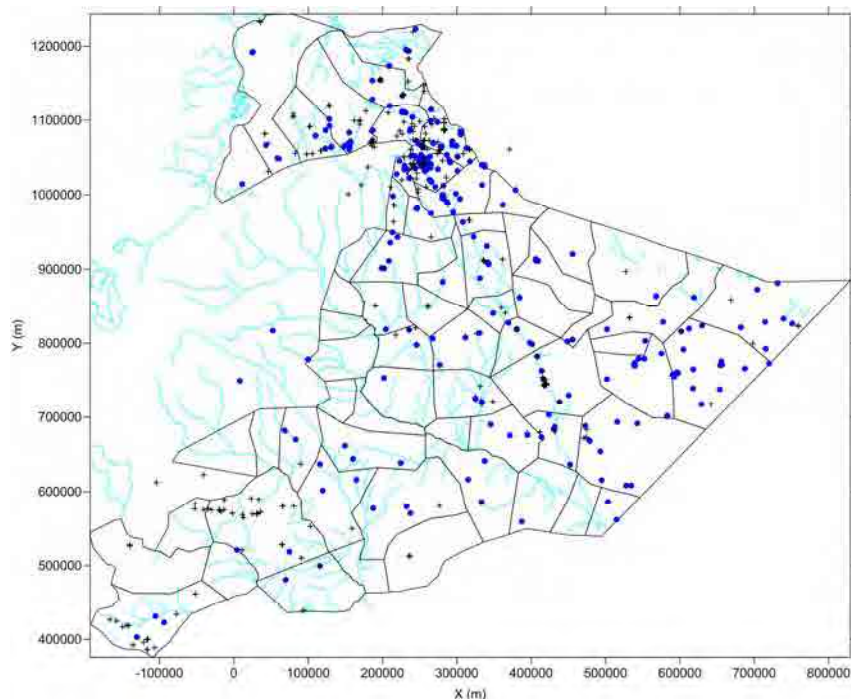


図 4.1: 井戸掘削位置図

(●: 井戸 (柱状図データ有)、+: 井戸 (柱状図データ無))

4.1.3 湧泉データ

2003年と古いSRWDBのデータであるが、ソマリ州で水源とされている湧泉は、下表に示す9地点のみである(表 4.2)。

表 4.2: ソマリ州の湧泉情報

県	郡	サイト名	状況 (2003)
Afder	Elkare	Shakisa	稼動
Shinile	Afdem	Biyo kulul	稼動
Shinile	Erer	Magala-Add	稼動
Shinile	Erer	Halisho	稼動
Shinile	Erer	Bila	稼動
Shinile	Erer	Gota	稼動
Shinile	Erer	Garmaam	非稼動
Shinile	Erer	Erer town 2	稼動
Shinile	Shinile	Adigala	稼動

4.2 地下水のポテンシャル

4.2.1 帯水層単元の分類と特徴

帯水層の分類と各帯水層の特徴を表 4.3にまとめる。

表 4.3: 帯水層単元の分類と特徴

地質年代	帯水層名	記号	水理地質的特徴
第四紀	第四系	Qa, r (現河川堆積物)	<ul style="list-style-type: none"> • 第四紀堆積物の地下水は水量・水質とも良好で、生活用・家畜用共に利用できる⁷⁾。 • 枯れ沢の第四紀堆積物からは生活用水用の地下水が採水されている⁷⁾。 • ハンドダッグウエルの多くは、本帯水層中に位置している⁷⁾。
第四紀 - 第三紀	玄武岩	Qb, Qv	<ul style="list-style-type: none"> • 一般に玄武岩の上部は強風化していることが多く、下部は風化が弱く新鮮である。 • 玄武岩の風下部・亀裂部は良好な帯水層となる。
第三紀	Karkar	Ek	<ul style="list-style-type: none"> • 本帯水層は、石灰岩、泥灰質石灰岩、粘土から成る¹⁾。 • AQUATECH (1999)¹⁾によると、Galadi井が本帯水層を象徴する。浅所に泥灰岩と粘土が分布し、プロビウムと炭酸塩が分布する局所的な凹地では、湧出量は低いが宙水帯水層が利用できる。
	Talah	Et	<ul style="list-style-type: none"> • 本帯水層は、苦灰岩を挟在する硬石膏、石膏、頁岩の互層から成る²⁾。 • 石膏は本層の全域に分布するわけではないので、幾つかの井戸では飲料水が取水されている²⁾。
第三紀 - 白亜紀	Auradu	Ea	<ul style="list-style-type: none"> • 本帯水層は、灰色から白色の硬質・塊状の石灰岩から成り、成層してないことが多い⁷⁾。 • Warder郡東部では、層相が一様であり、GaladiとBokh地域に露岩する⁷⁾。 • 断層や亀裂部から地下への浸透が起こる⁷⁾。
	Jessoma	Pj	<ul style="list-style-type: none"> • 本帯水層は、雑色の頁岩とラテライト質層を挟在する灰色・雑色の砂岩から成る。既往資料では、粒度と層厚は西から東に次第に大きくなる⁷⁾。 • 本層の層相上の特性は、地下水を含有する砂岩の特徴が垂直的にも水平的にもかなり変化することである⁷⁾。 • ソマリ州の東部、特にDanot地域では、浅部の難透水層の欠如により、本層への涵養が可能となり下位の不透水性の固結した石灰岩や白亜紀後期の堆積物の粘土層まで深く浸透していく傾向にある⁷⁾。
白亜紀	Beletwein	Kb	<ul style="list-style-type: none"> • 本帯水層は、頁岩や褐色砂岩を挟在する塊状石灰岩から成る¹⁰⁾。 • 本層中の掘削井戸では、上部では水質が悪く、下に向かって良くなり、下部では比較的淡水の水質の地下水に遭遇する¹⁰⁾。
	Ferfer	Kf	<ul style="list-style-type: none"> • 本帯水層は、苦灰岩、泥灰岩、硬石膏の互層から成る¹⁰⁾。 • Shilabo村南部のようにカルスト地形が随所に存在する¹⁰⁾。 • 本層の主部は難透水層または塩水帯水層となる¹⁰⁾。
	Mustahil	Km	<ul style="list-style-type: none"> • 本帯水層下部は頁岩と泥灰岩を挟在する石灰岩が特徴で、上部は石灰岩が卓越する¹⁰⁾。 • 本層中の宙水を取水する多くのダッグウエルが、特にKelafo周辺やKabridahar方向に向かったFafem峡谷内で、知られている¹⁰⁾。 • 層相や浸透性は、本層は十分な水量の地下水を産出するのに適した水理特性を有することを示す¹⁾。 • しかしながら、本層は二つの蒸発岩層、Korahe及びFerfer帯水層に上下を挟まれていることから、水質の適正に不確かなと

			ころがある ¹⁾ 。
白亜紀 – ジュラ紀	Korahe	Kg	<ul style="list-style-type: none"> ● 本帯水層の上部は苦灰岩層を伴う塊状の硬石膏が卓越する。下部は苦灰質石灰岩、泥灰岩、頁岩、硬石灰の互層で代表される⁷⁾。 ● 水質が悪いため、管井戸で淡水の地下水を得ることは不可能である⁷⁾。 ● それ故、本層の分布域では、淡水を得るために下位の石灰岩層まで掘削を行わなければならない⁷⁾。 ● 特にAfder郡とGodey郡における本帯水層内で行なわれた掘削の大分が高塩分濃度によって廃棄されている⁷⁾。
	Amba Aradam	Ka	<ul style="list-style-type: none"> ● 本帯水層は、中粒から粗粒の石英質な砂岩を主とし、シルト岩、頁岩、泥灰岩層が、砂質層と互層する²⁾。 ● Ogaden堆積盆における過去の調査では、本層は状態の悪い帯水層に分類されている (e.g. EIGS, 1999)^{11) in 12)}。
ジュラ紀	Kabridahar	Jg	<ul style="list-style-type: none"> ● 泥灰岩、頁岩、石膏の薄層を挟在する厚い石灰岩層から成り、調査地域に広く分布する⁷⁾。 ● 一般に、石灰岩の水平層を伴う帯水層は、地下水の流れの発生に重要な空隙率や透水性が本来は小さい⁷⁾。 ● 層理面に沿った割れ目や溶解した孔による二次的な透水性が地下水の産出や動きにより重要となる⁷⁾。 ● 割れ目に沿って入った水は割れ目帯の溶解を起こす。結果として、割れ目の無い岩石よりも高い透水係数となり、それは高い地下水の産出を可能とする⁷⁾。 ● 割れ目帯の垂直方向の流れは、水平方向の流れを生み出す層理面に沿った溶解孔も結果として作り出している⁷⁾。
	Urandab	Ju	<ul style="list-style-type: none"> ● 本帯水層は、Hamanlei帯水層を整合で覆い、成層した細粒頁岩質石灰岩と泥灰岩、石膏質粘土、塊状石膏の互層から成る⁷⁾。 ● 本層の掘削孔は、空井戸によりほとんどが廃棄される。本層の地下水の欠如は頁岩の存在によるもので、これが垂直・水平方向の涵養を妨げている⁷⁾。
	Hammanlei	Jh	<ul style="list-style-type: none"> ● 本帯水層は石灰岩と苦灰岩が卓越する。下位のAdgrat帯水層砂岩とは漸移し、Urandab帯水層に覆われる。本層は5ユニットに区分される⁷⁾。 ● 本層の露岩地域では、多量の淡水が多く井戸で産出している⁷⁾。
ジュラ紀 – 三畳紀(?)	Adigrat	Ja	<ul style="list-style-type: none"> ● 本帯水層は、白色から灰–緑色、黄色、茶色、茶–赤色の粗粒で硬質から緩く固結した砂岩で代表される¹⁸⁾。 ● 本層は、一般的には、中程度の産出力³⁾に分類されている。
プレカンブ リア紀	基盤岩類	PC	<ul style="list-style-type: none"> ● 強変成を受けた岩石（花崗岩、ミグマタイト等） ● 帯水層能力は低く²⁾、破碎帯や風下部でのみ地下水を産出する。

4.2.2 帯水層ポテンシャルの評価

井戸台帳及び井戸柱状図の記録等よりまとめたソマリ州の帯水層の特徴を次の図に示す。

- 井戸掘削結果の状況（図 4.2）
- 各帯水層の層厚（図 4.3～図 4.16）
- 各帯水層の上面深度（図 4.17～図 4.31）
- 各帯水層の下面深度（図 4.32～図 4.45）

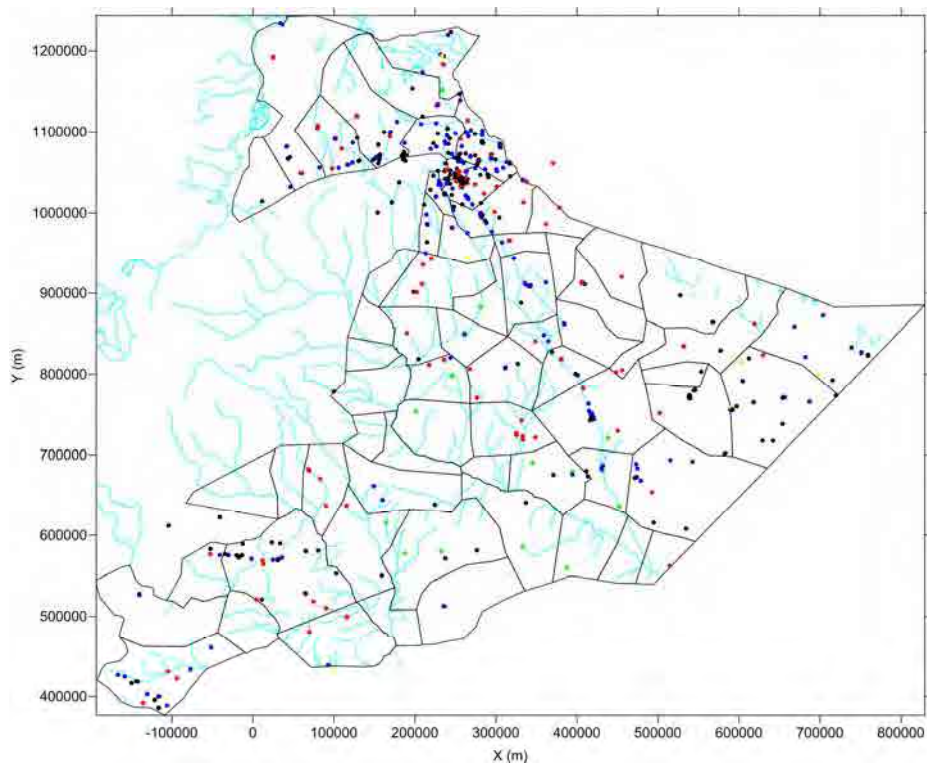


図 4.2: 井戸掘削結果の状況

(●: 成功井、●: 産出量少、●: 水質不良、●: 掘削工事困難（逸水、孔壁崩壊等）、●: 情報無)

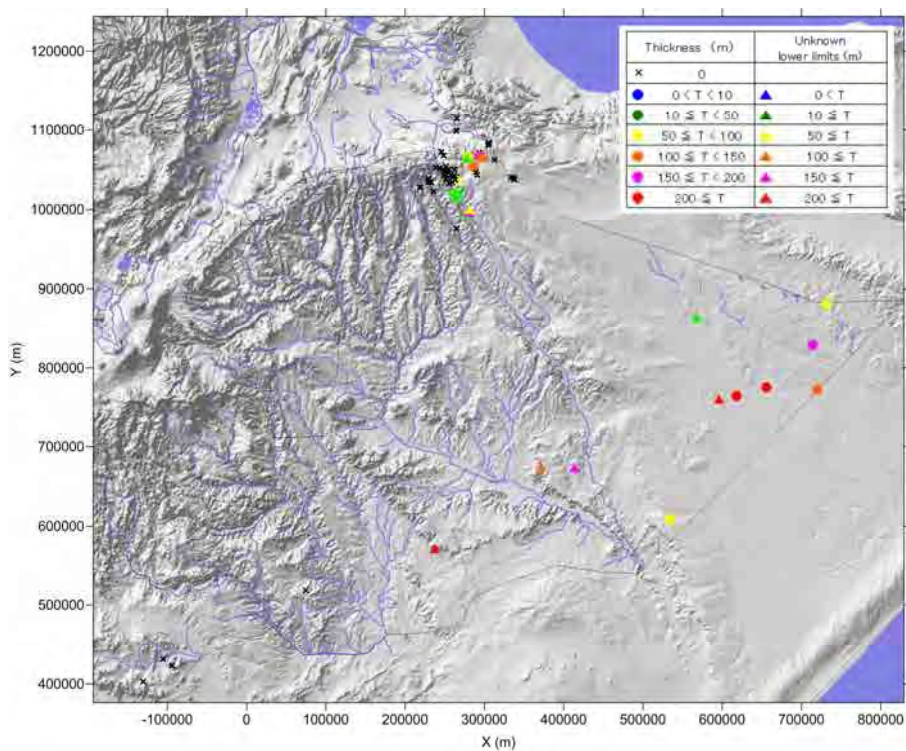


図 4.3: Adigrat 帯水層の層厚分布

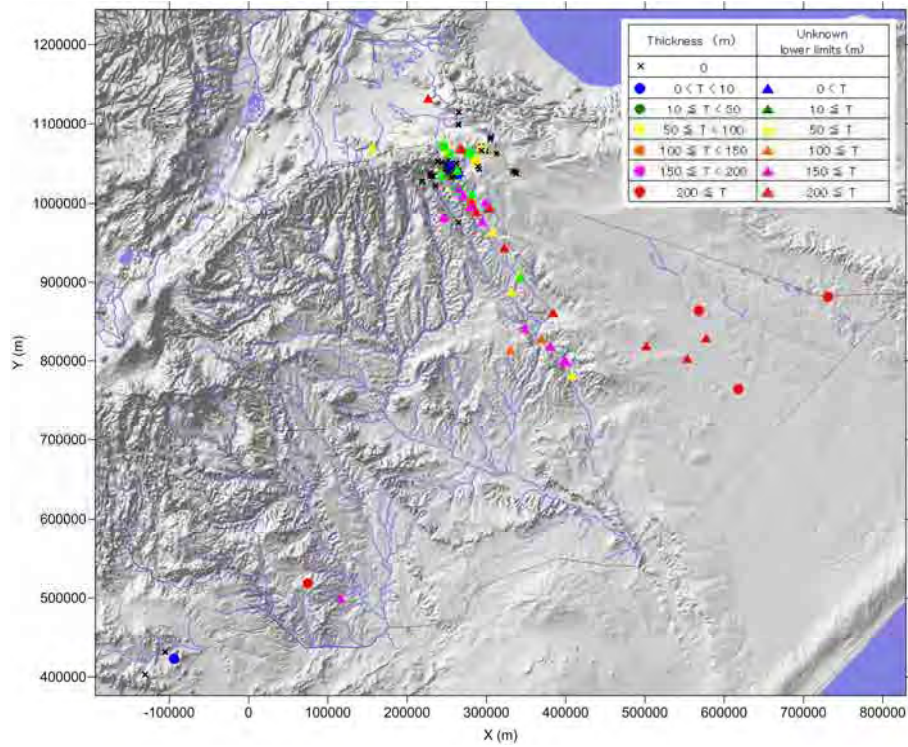


図 4.4: Hammanlei 帯水層の層厚分布

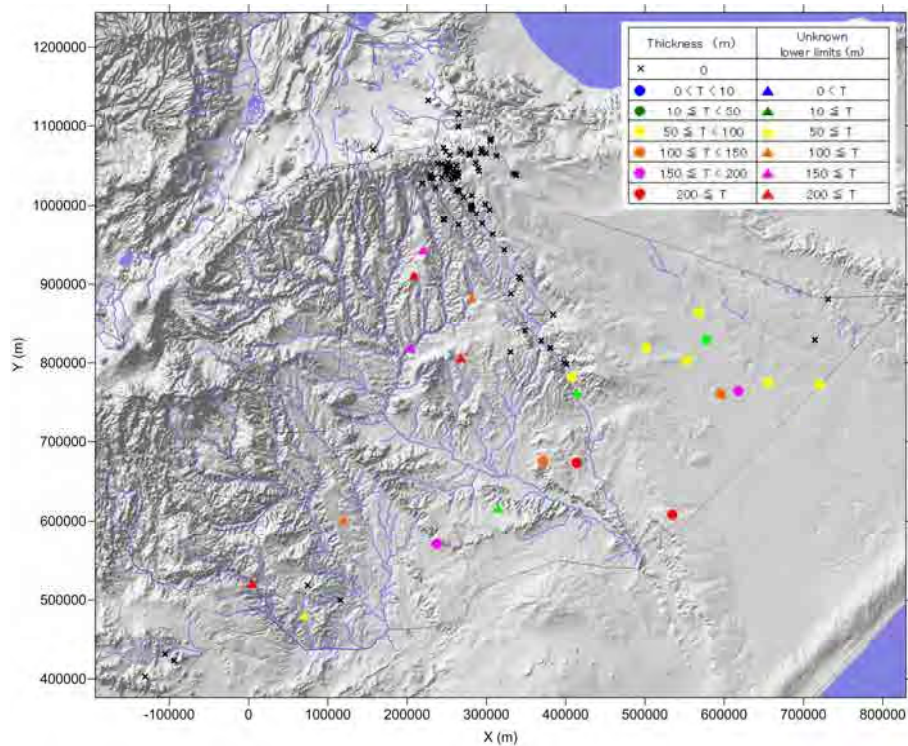


図 4.5: Urandab 帯水層の層厚分布

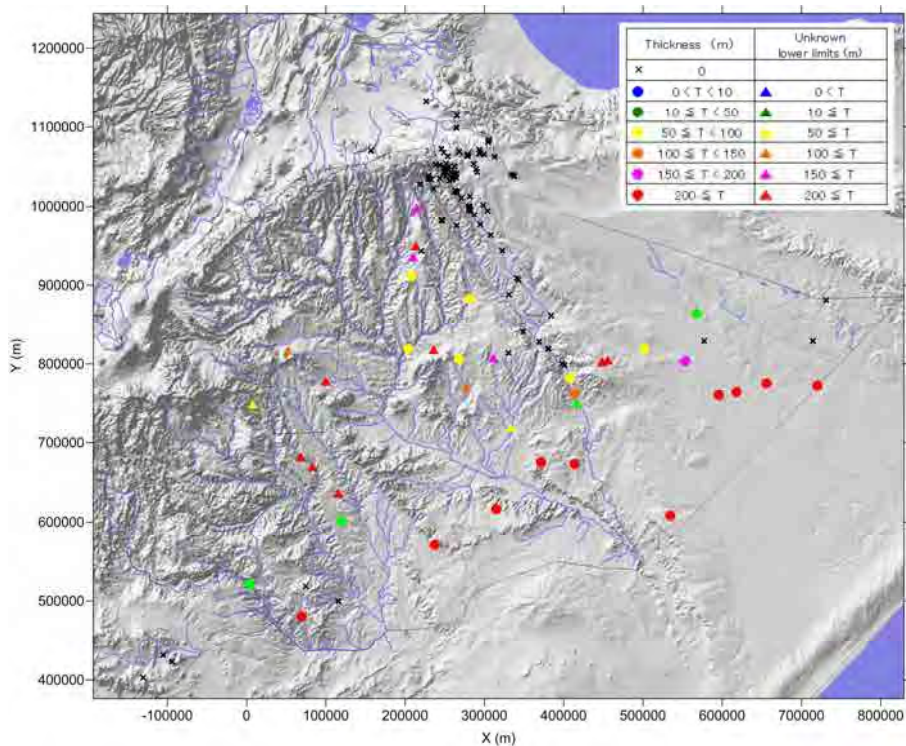


図 4.6: Kabridahar 帯水層の層厚分布

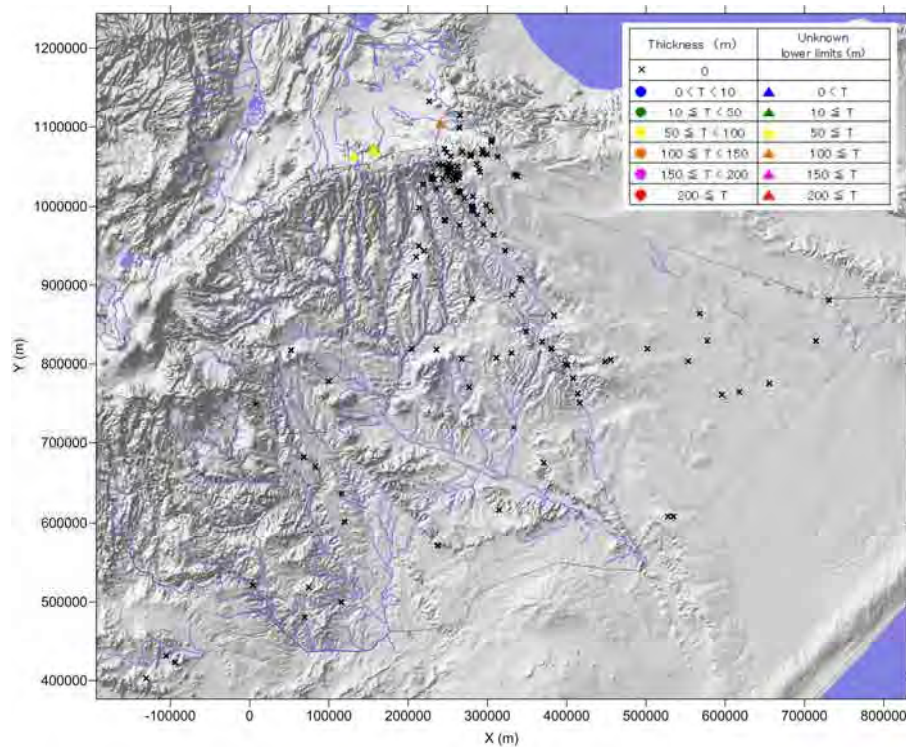


図 4.7: Amba Aradam 帯水層の層厚分布

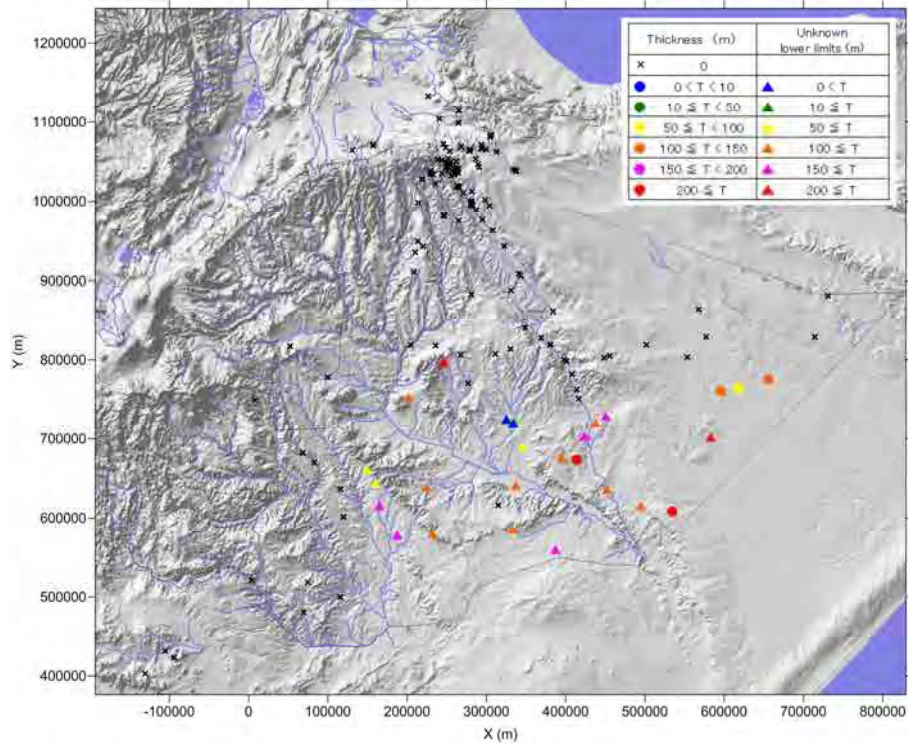


図 4.8: Korahe 帯水層の層厚分布

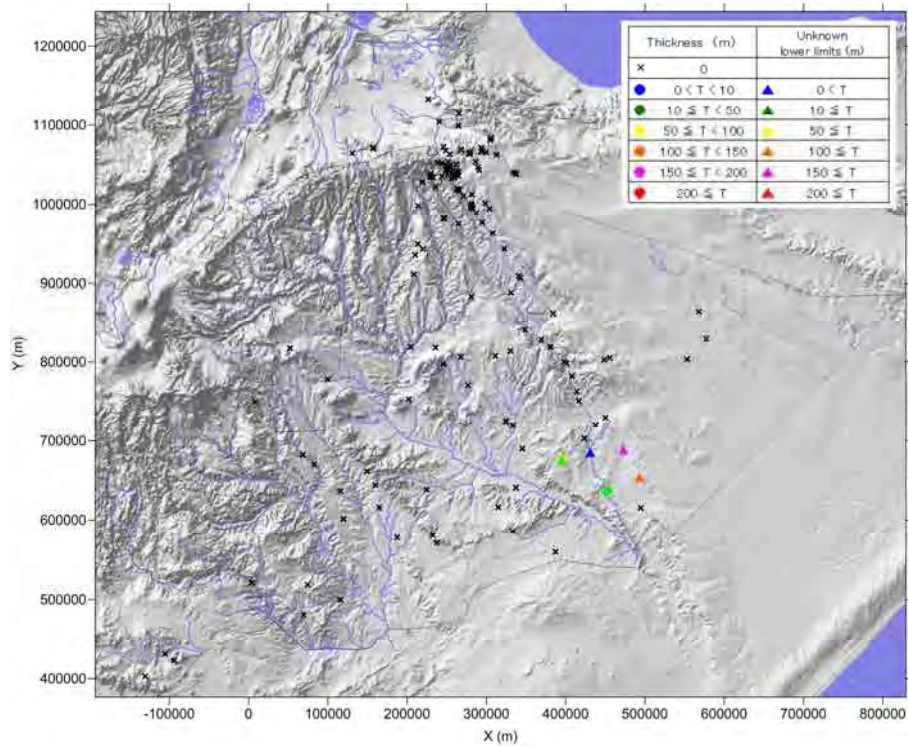


図 4.9: Mustahil 帯水層の層厚分布

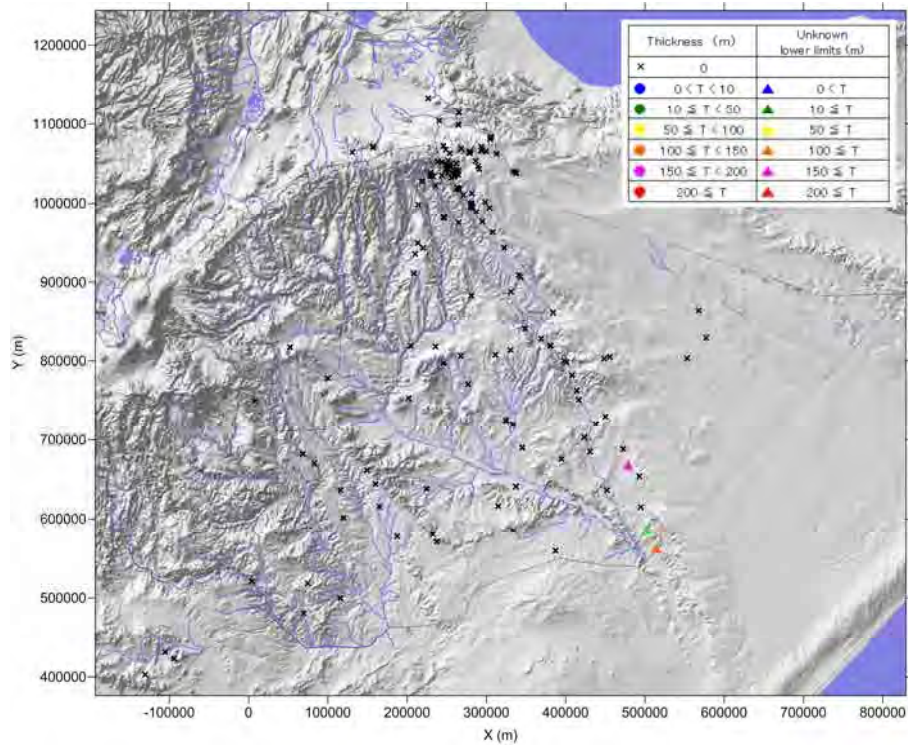


図 4.10: Ferfer 帯水層の層厚分布

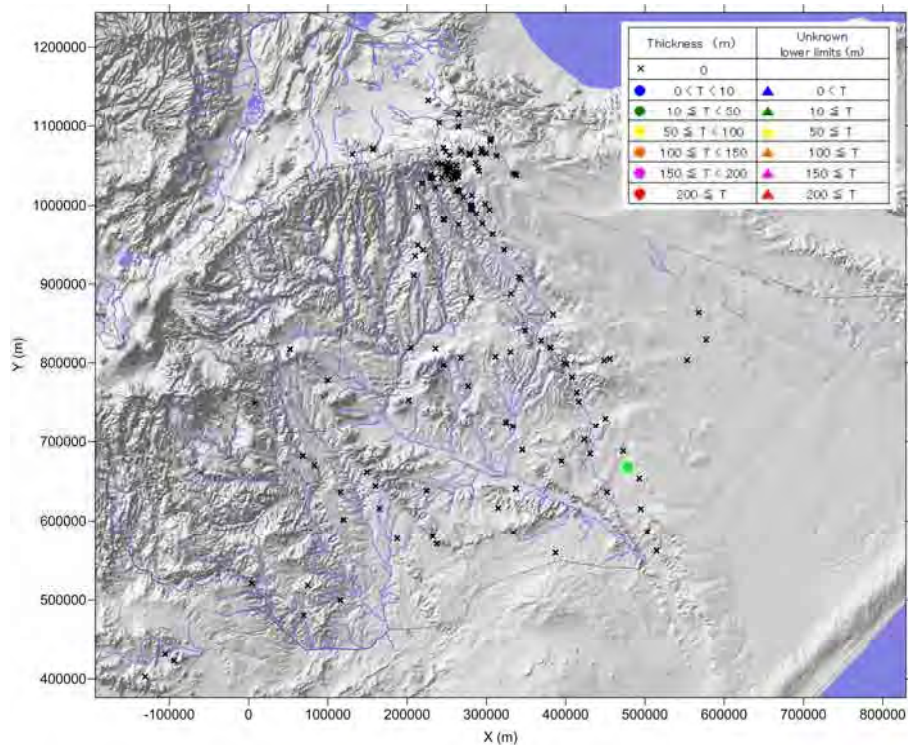


図 4.11: Beletwein 帯水層の層厚分布

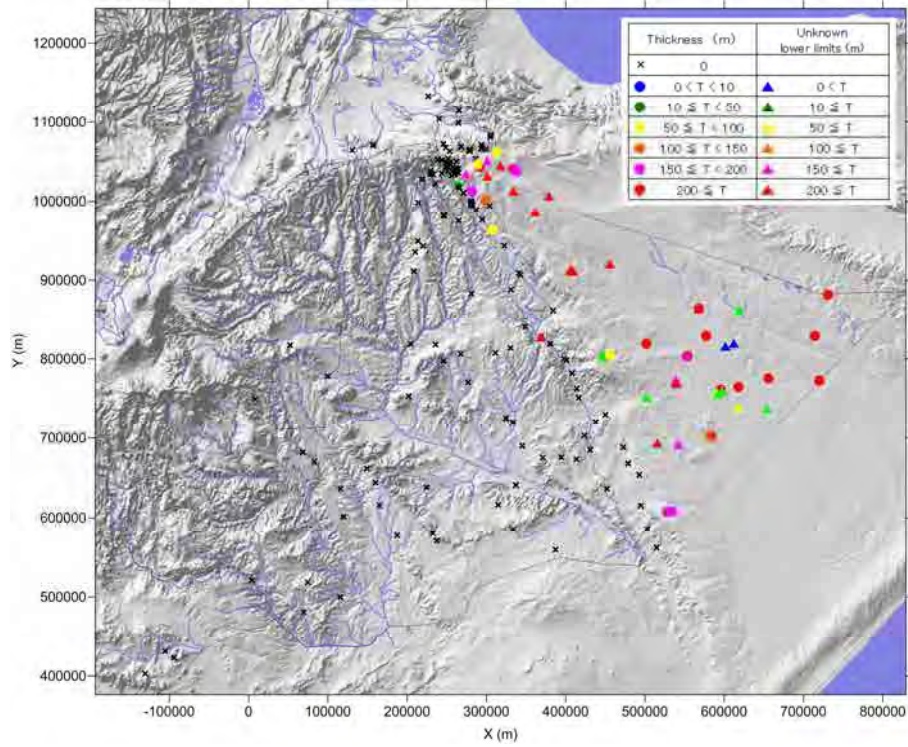


図 4.12: Jessoma 帯水層の層厚分布

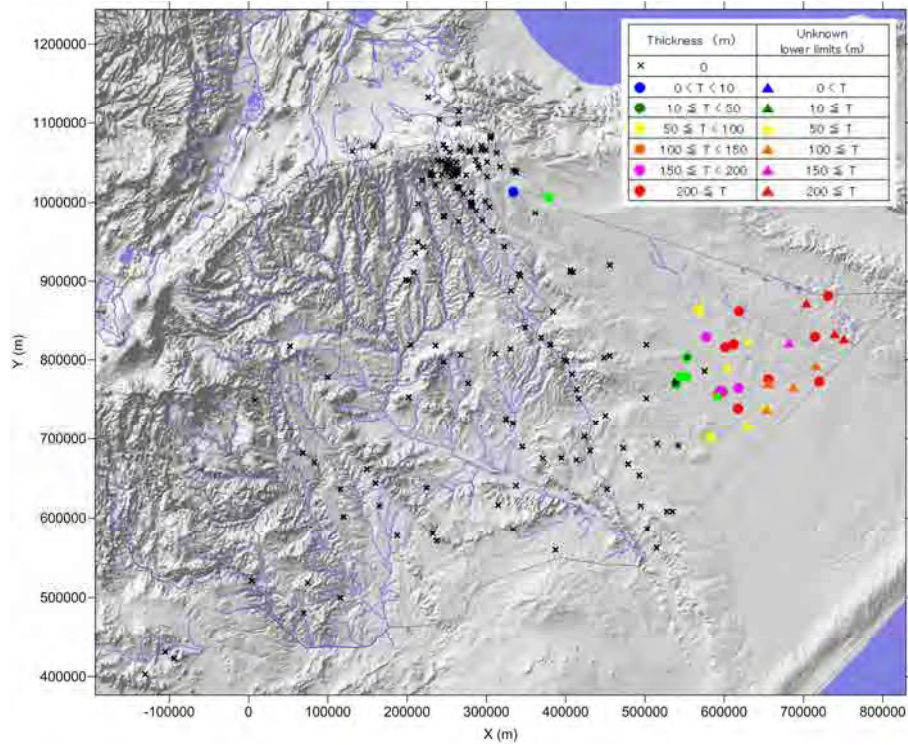


図 4.13: Auradu 帯水層の層厚分布

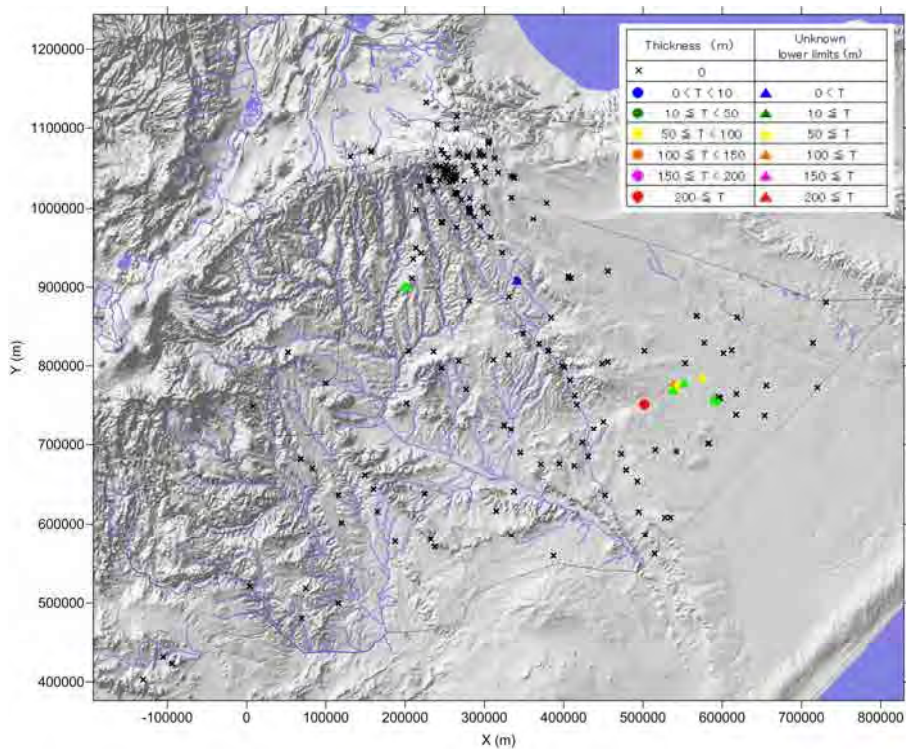


図 4.14: 玄武岩(古期玄武岩)帯水層の層厚分布

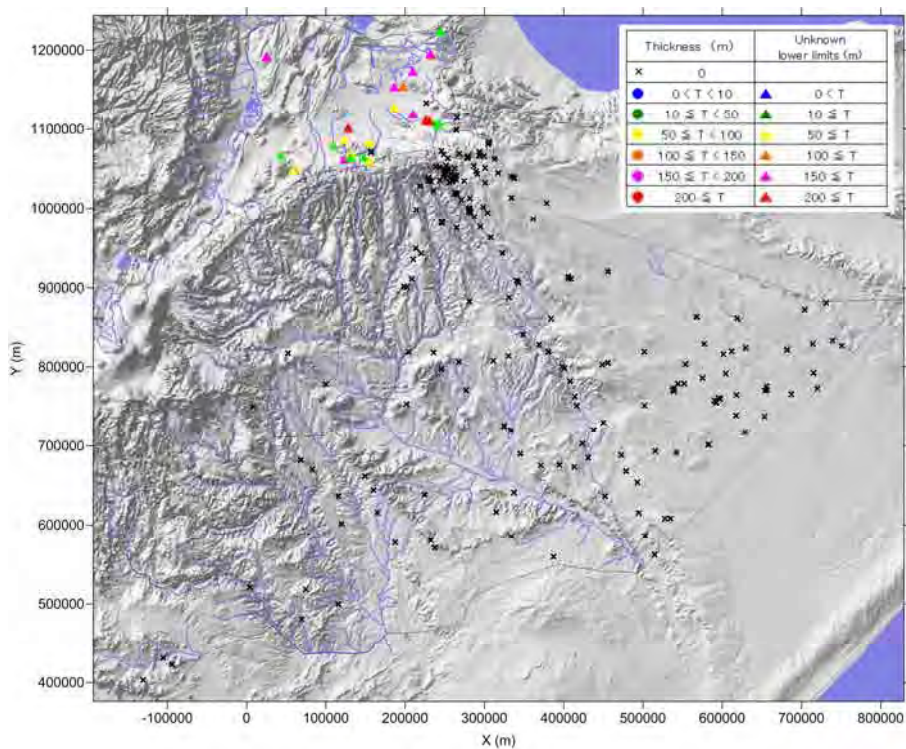


図 4.15: 玄武岩(新期玄武岩)帯水層の層厚分布

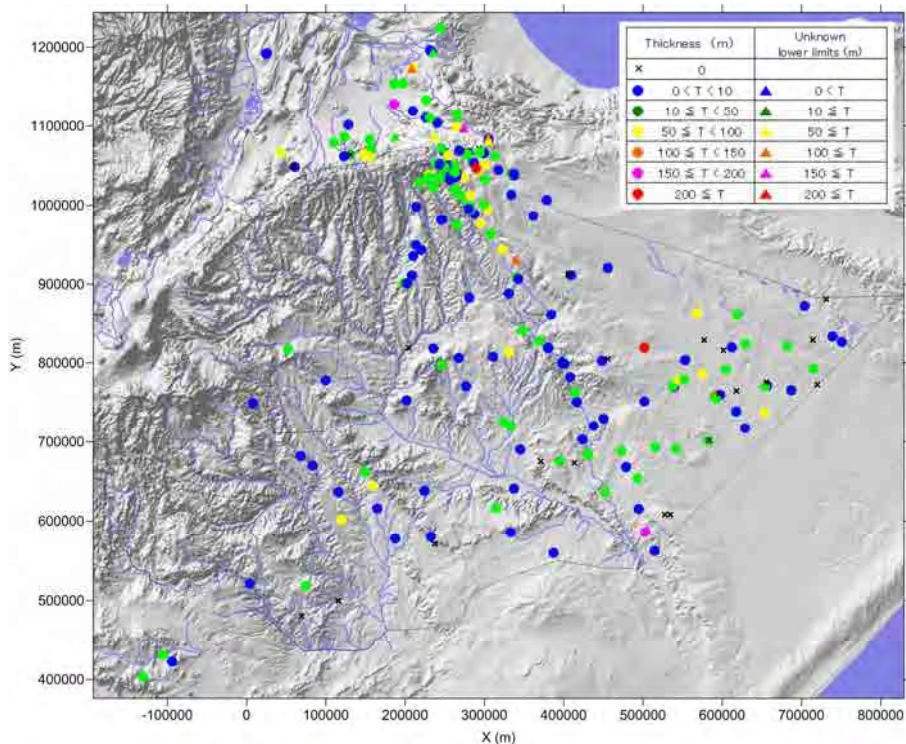


図 4.16: 第四系帯水層の層厚分布

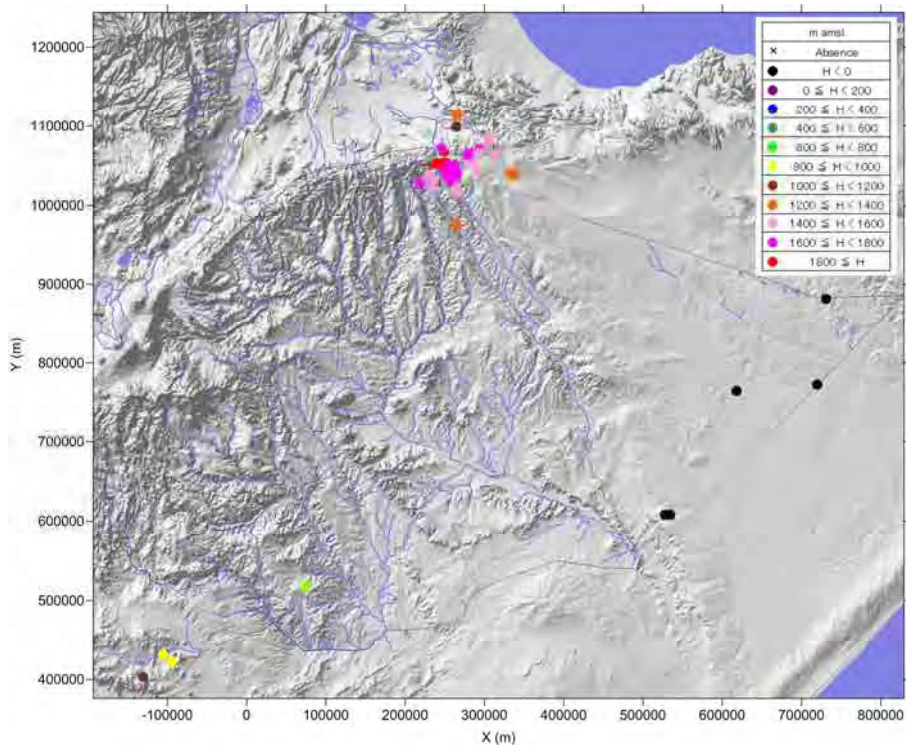


図 4.17: 基盤岩類の上面深度分布

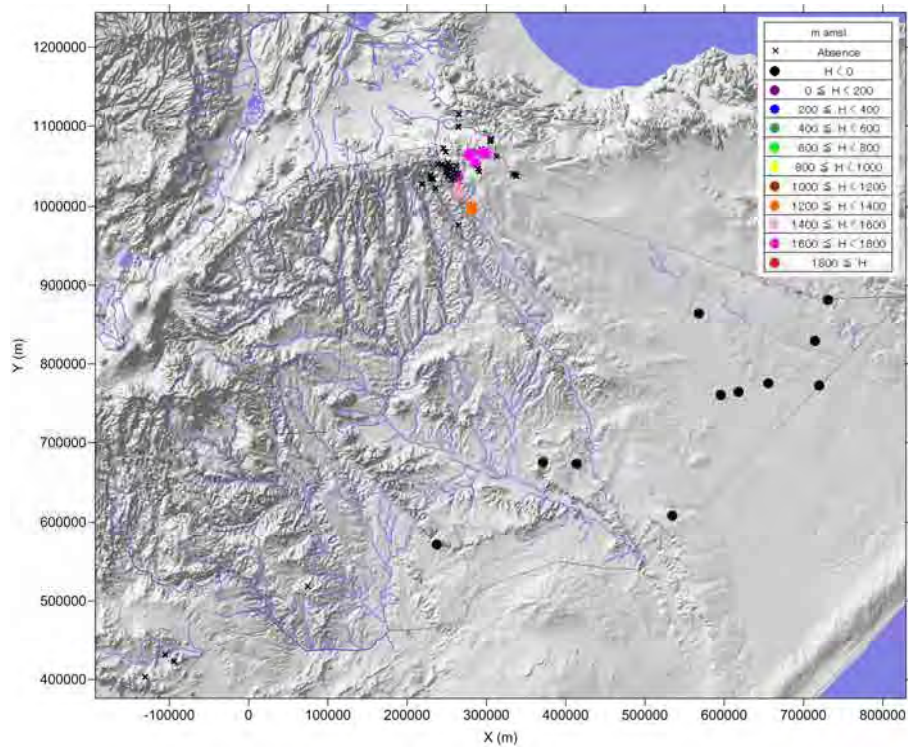


図 4.18: Adigrat 帯水層の上面深度分布

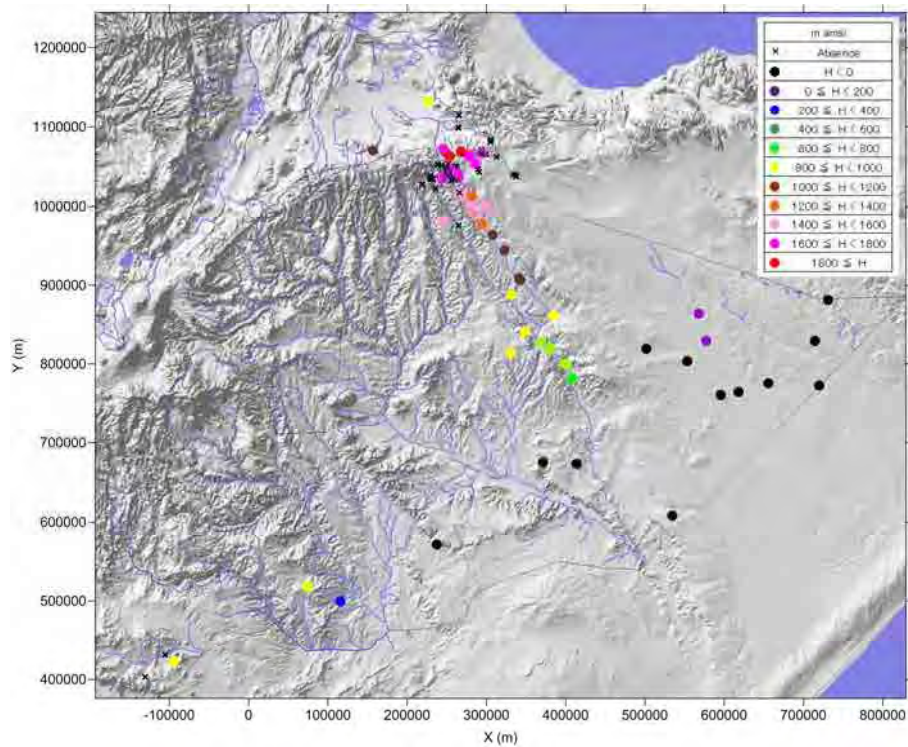


図 4.19: Hammanlei 帯水層の上面深度分布

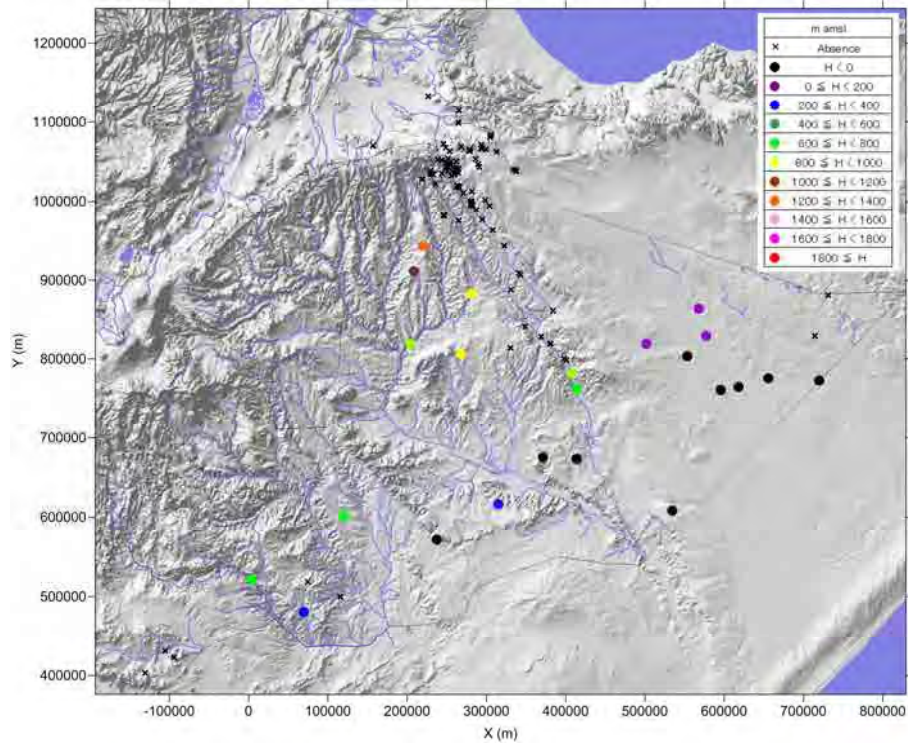


図 4.20: Urandab 帯水層の上面深度分布

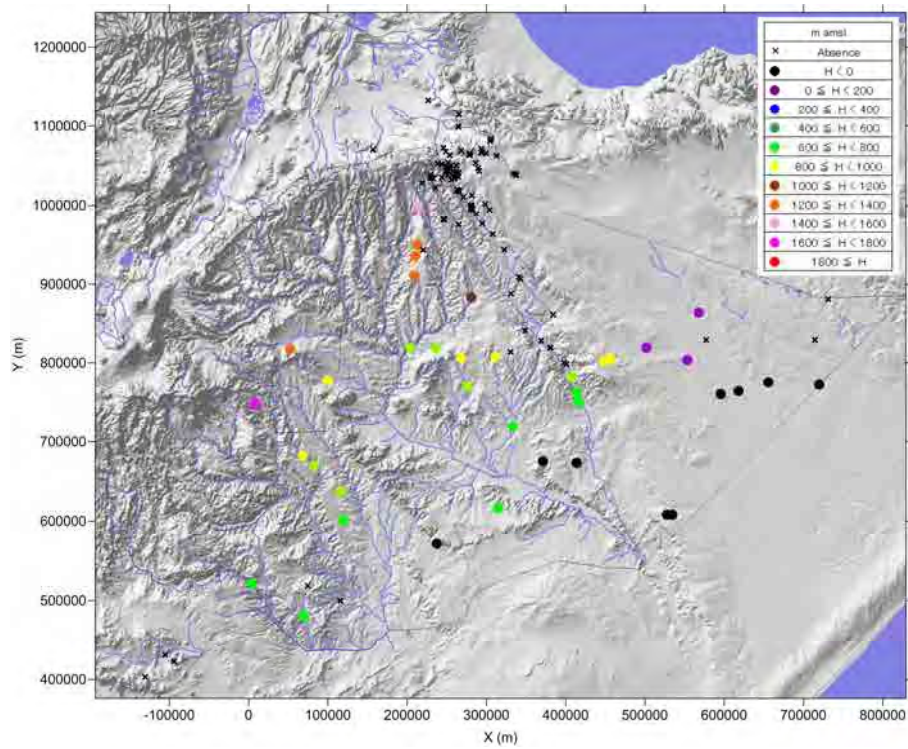


図 4.21: Kabridahar 帯水層の上面深度分布

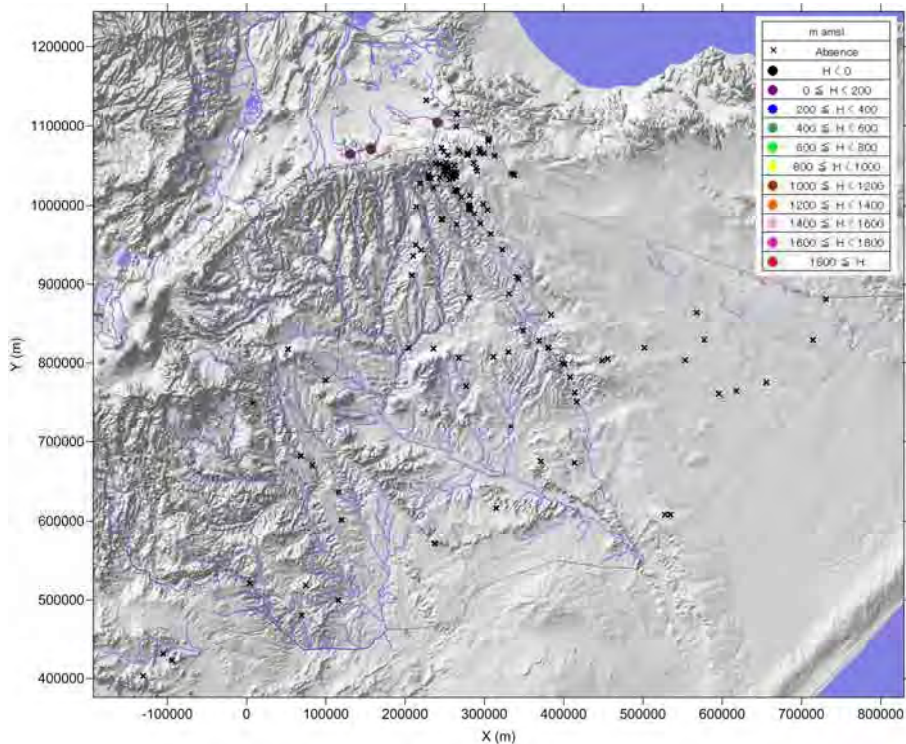


図 4.22: Amba Aradam 帯水層の上面深度分布

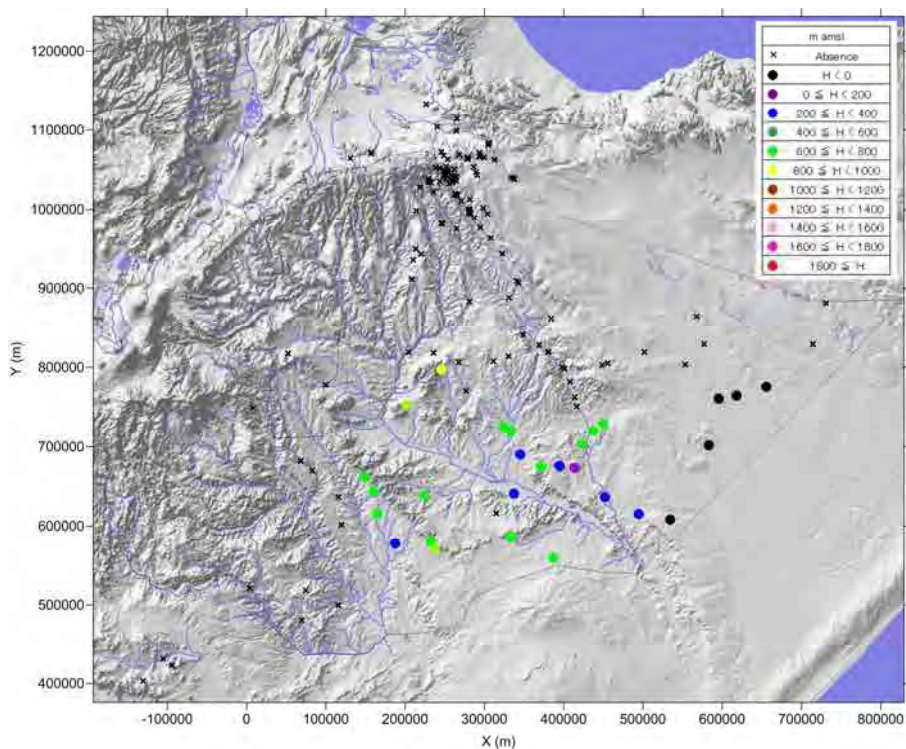


図 4.23: Koraha 帯水層の上面深度分布

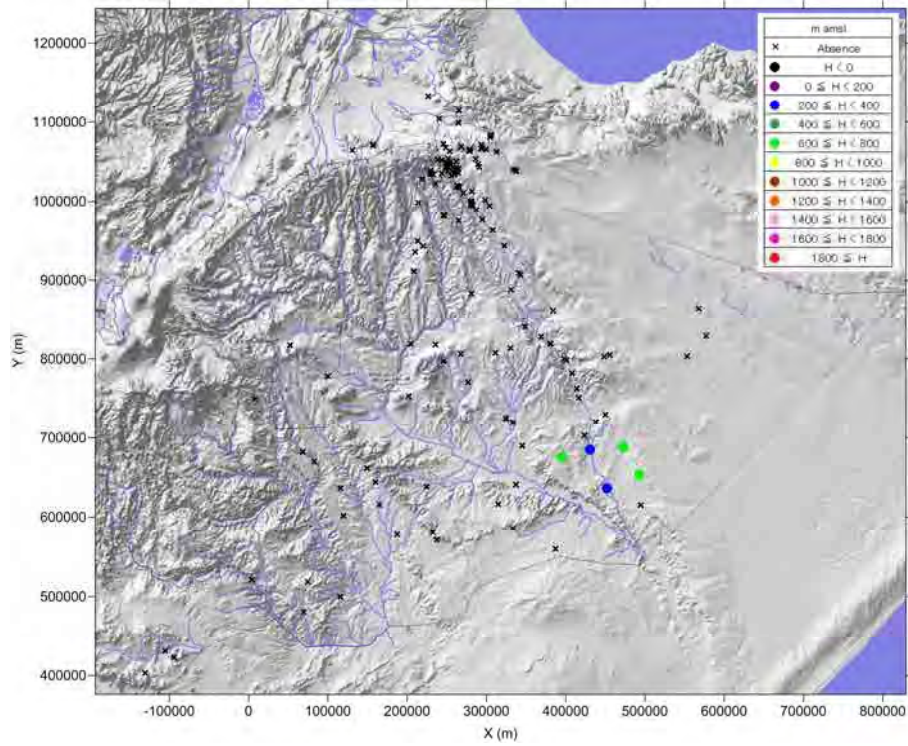


図 4.24: Mustahil 帯水層の上面深度分布

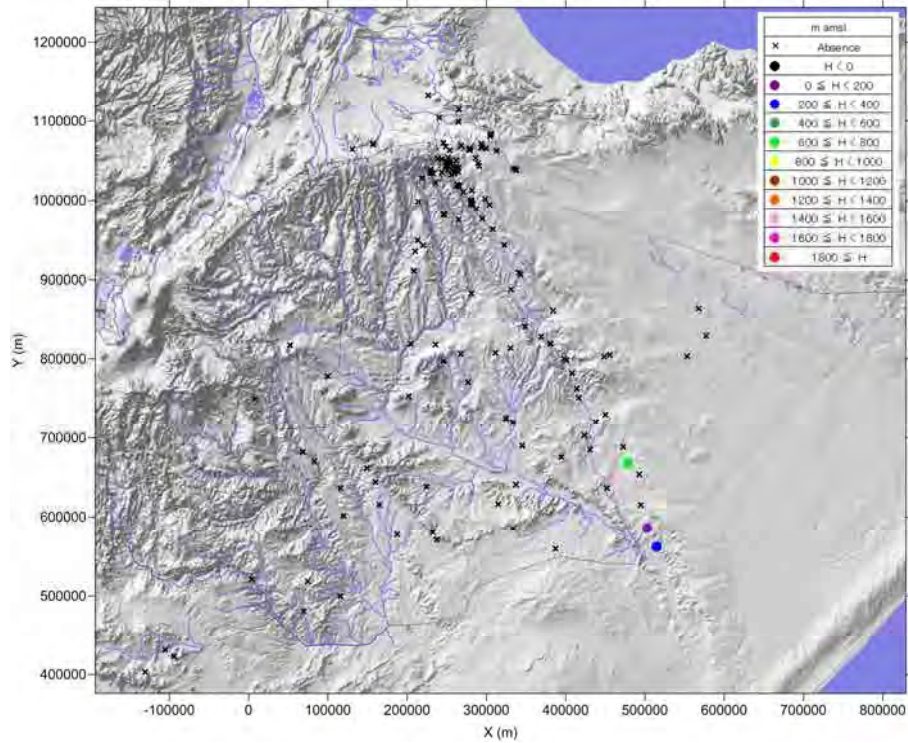


図 4.25: Ferfer 帯水層の上面深度分布

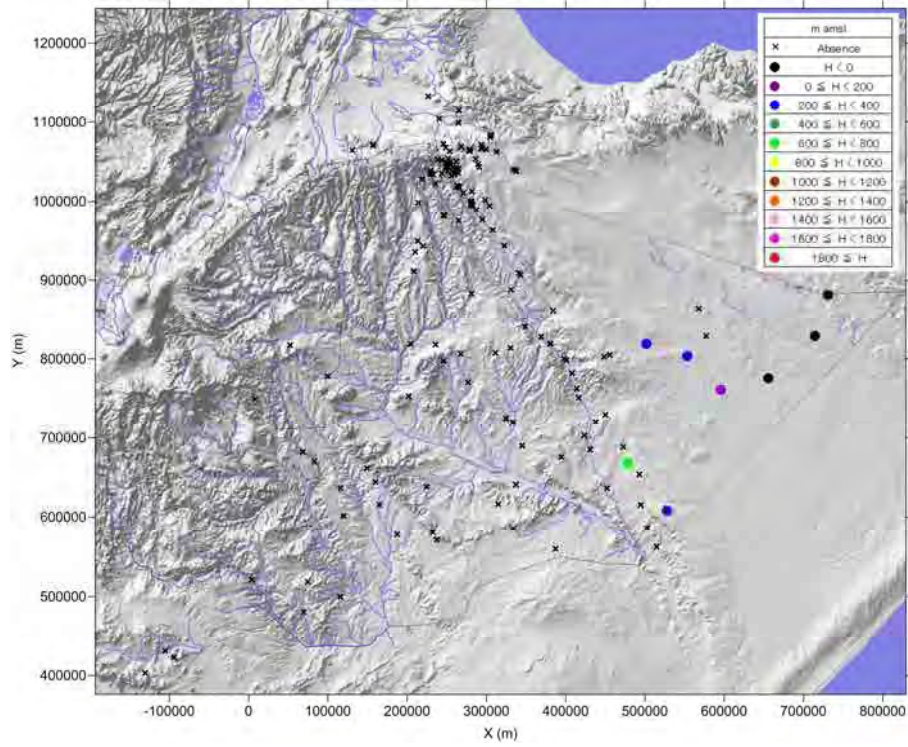


図 4.26: Beletwein 帯水層の上面深度分布

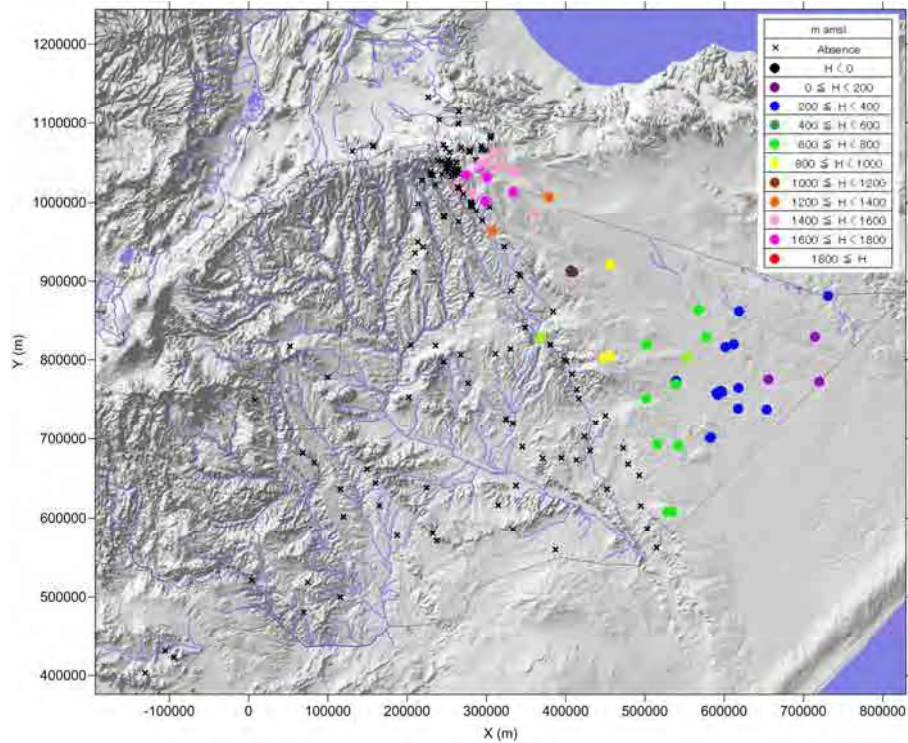


図 4.27: Jessoma 帯水層の上面深度分布

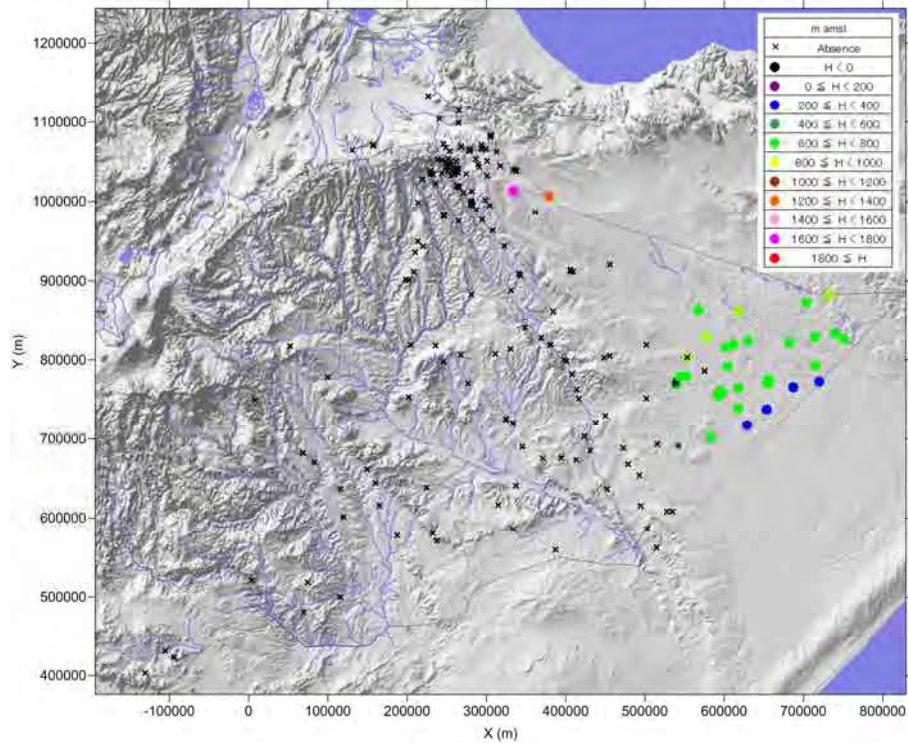


図 4.28: Auradu 帯水層の上面深度分布

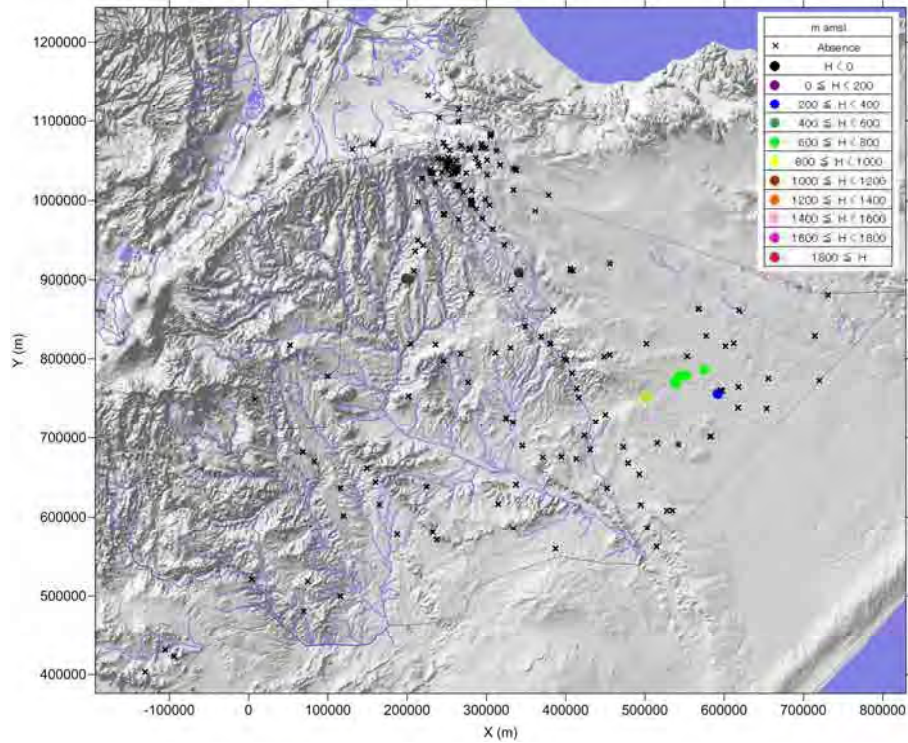


図 4.29: 玄武岩(古期玄武岩)帯水層の上面深度分布

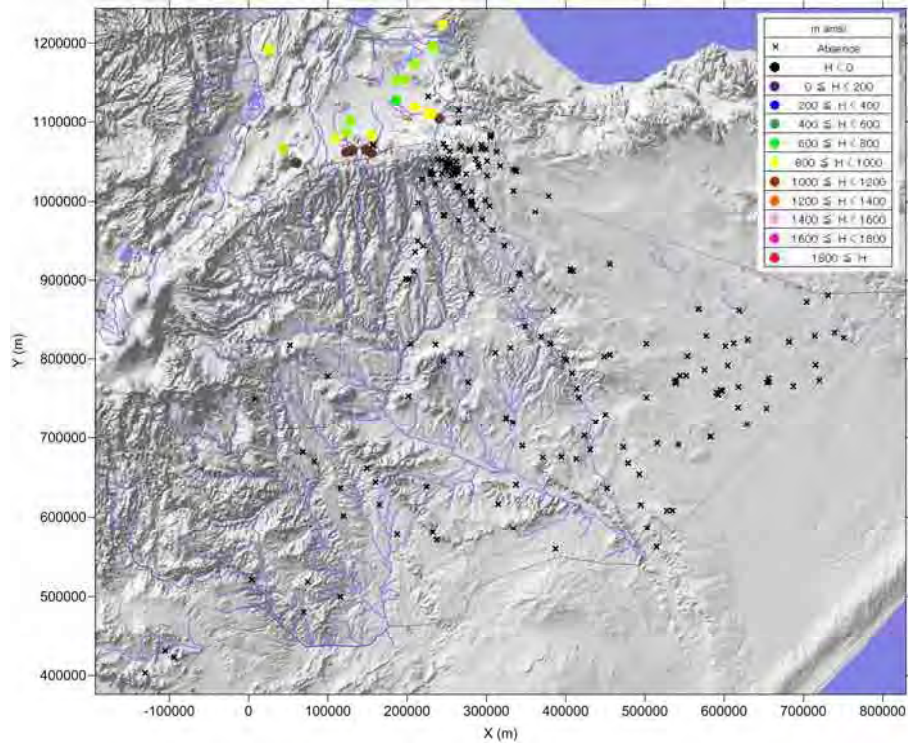


図 4.30: 玄武岩(新期玄武岩)帯水層の上面深度分布

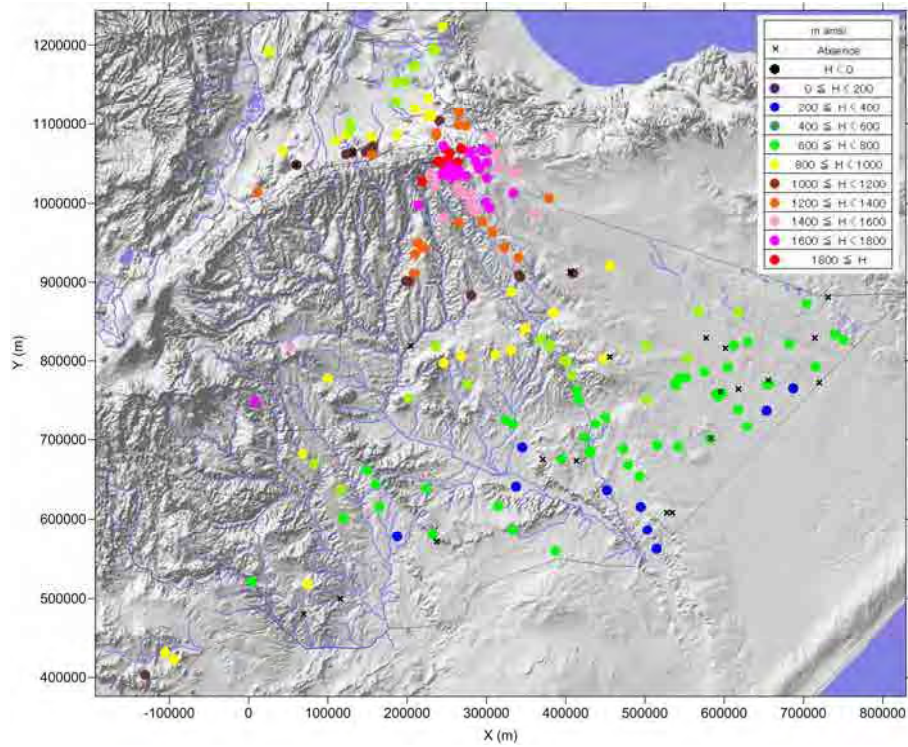


図 4.31: 第四系帯水層の上面深度分布

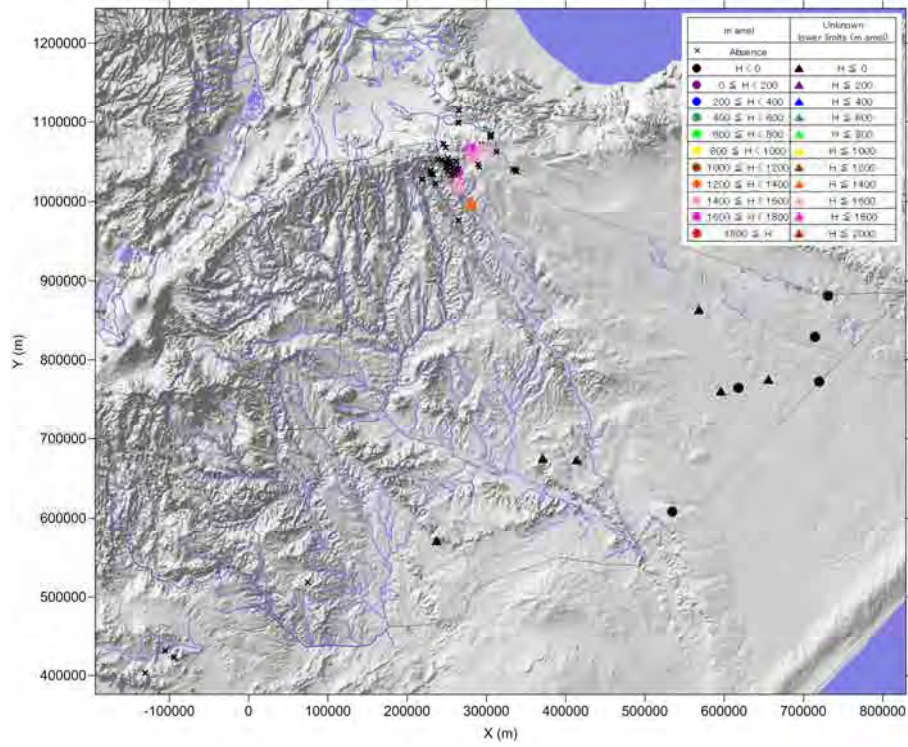


図 4.32: Adigrat 帯水層の下面深度分布

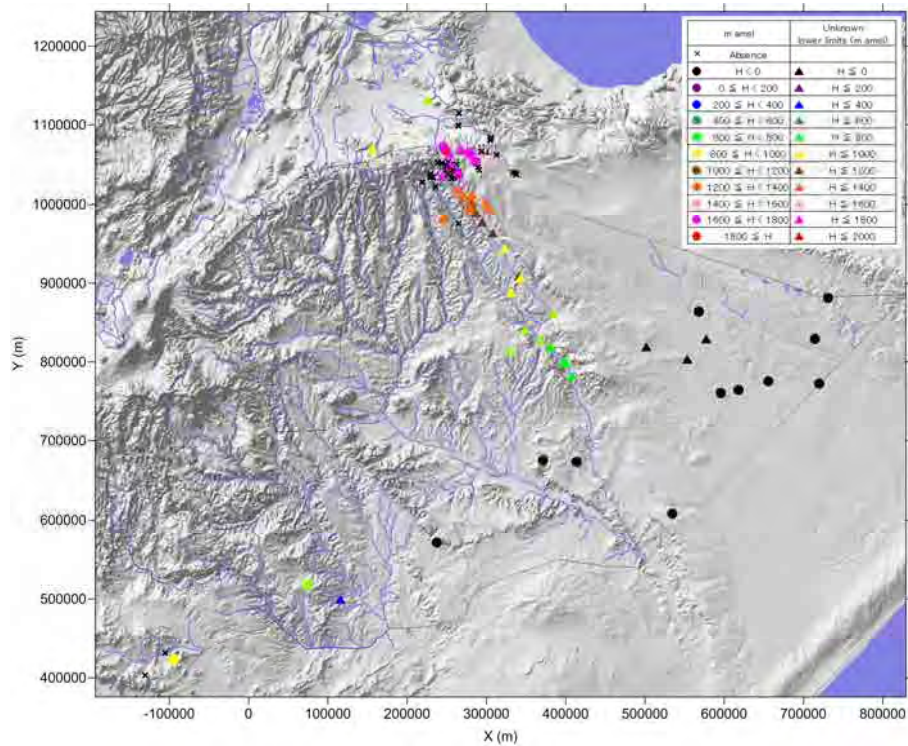


図 4.33: Hammanlei 帯水層の下面深度分布

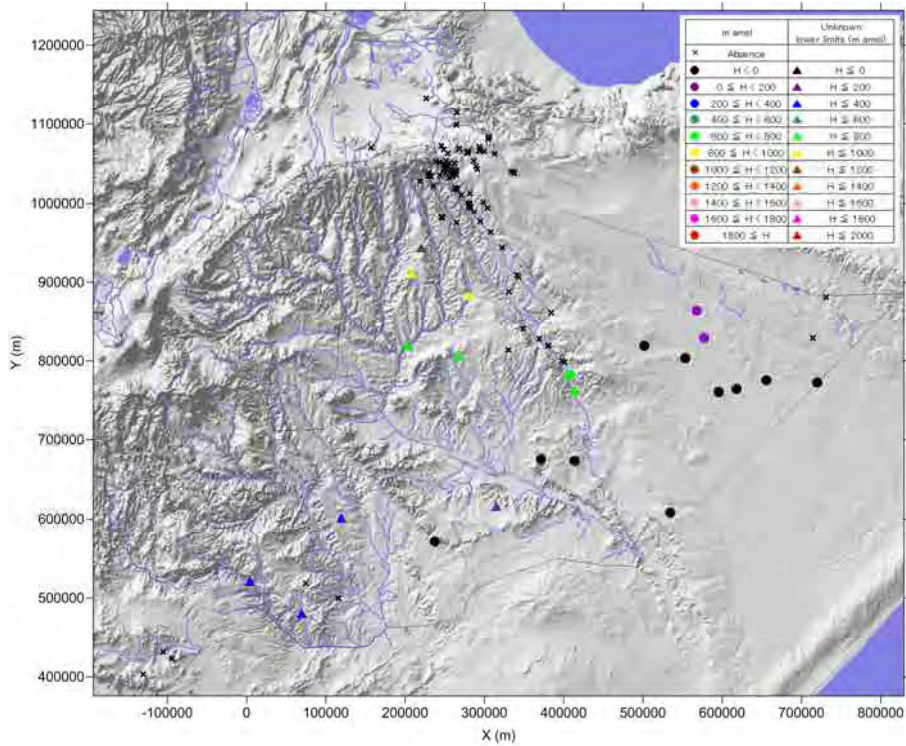


図 4.34: Urandab 帯水層の下面深度分布

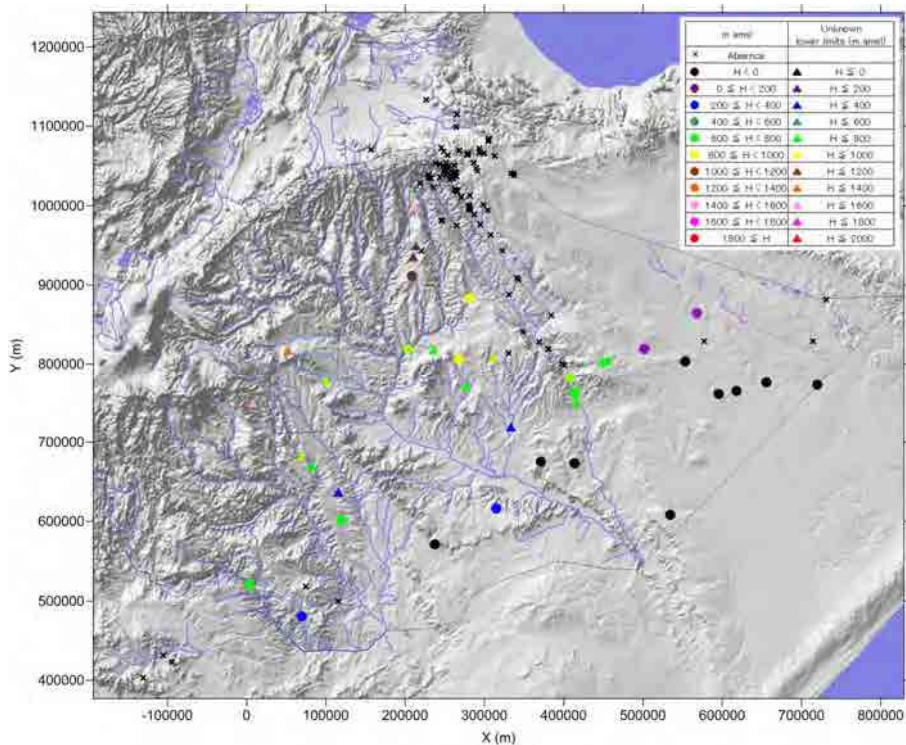


図 4.35: Kabridahar 帯水層の下面深度分布

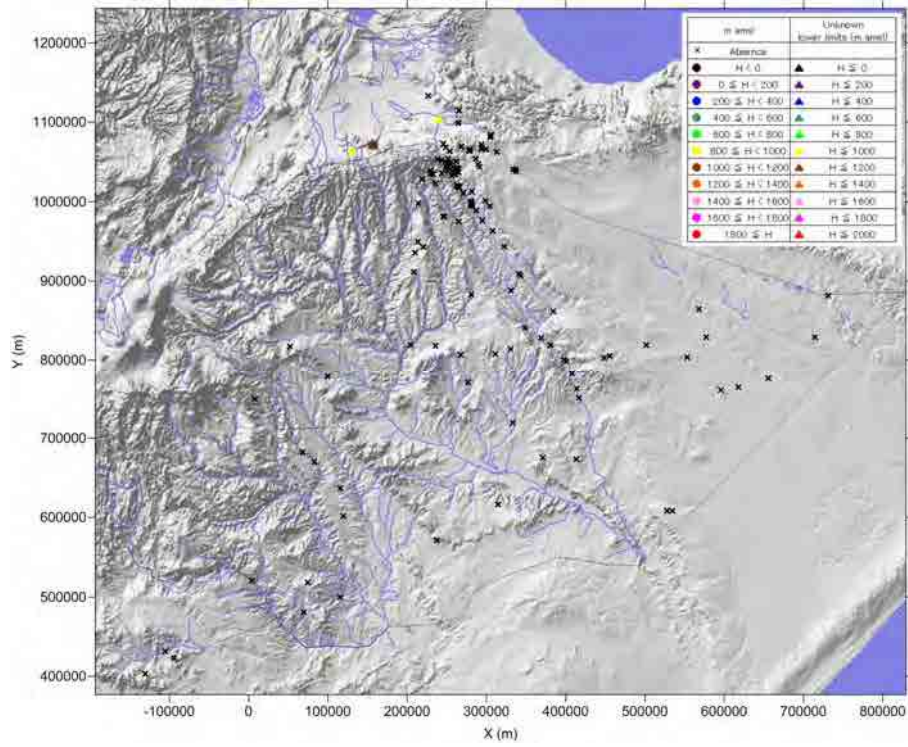


図 4.36: Amba Aradam 帯水層の下面深度分布

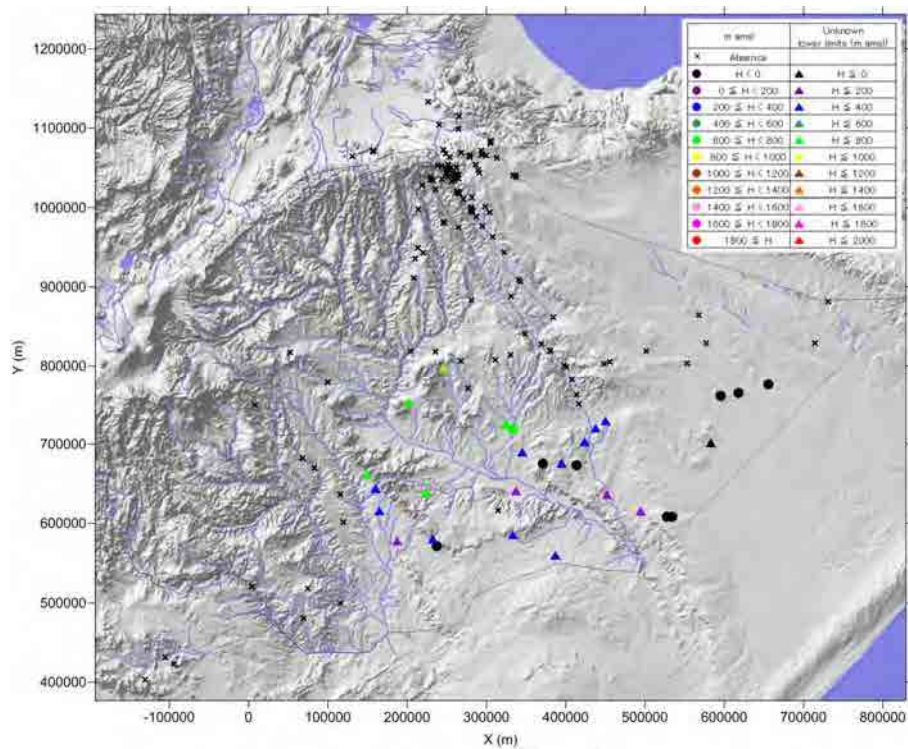


図 4.37: Korahe 帯水層の下面深度分布

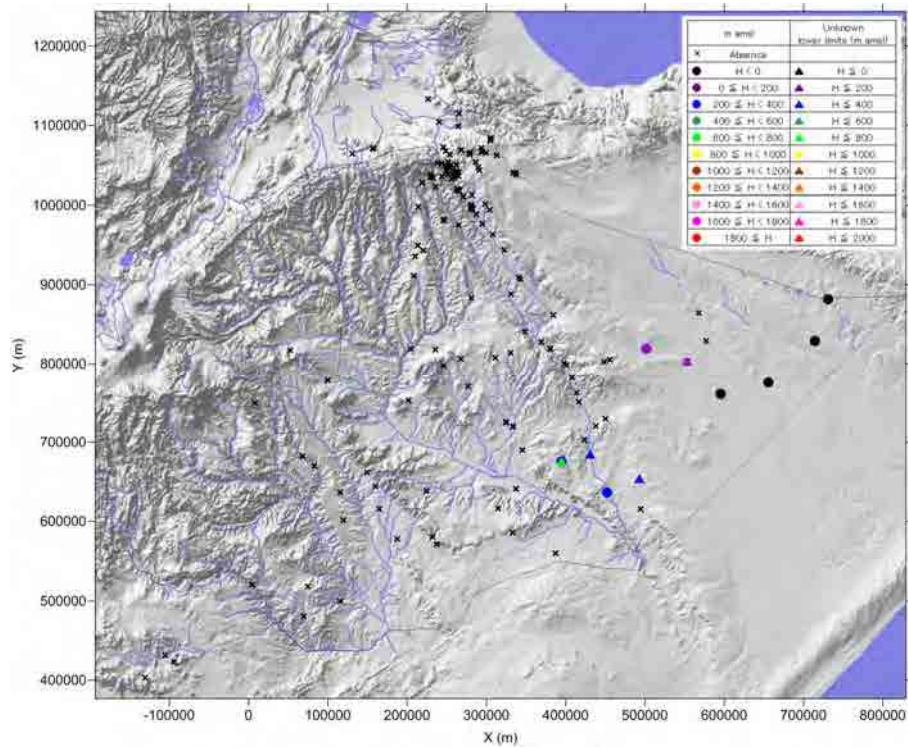


図 4.38: Mustahil 帯水層の下面深度分布

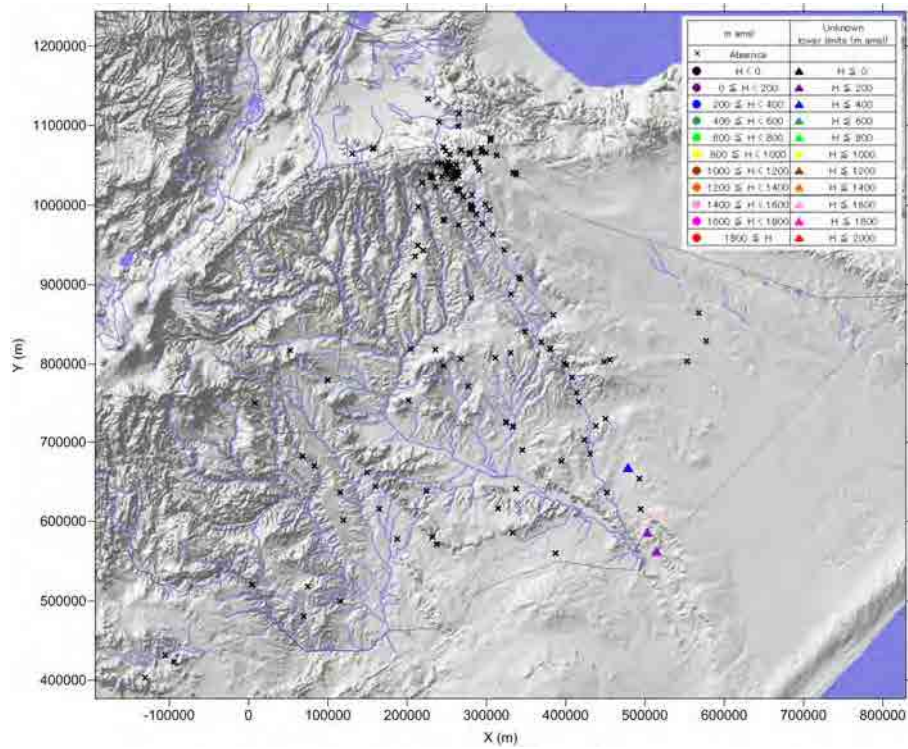


図 4.39: Ferfer 帯水層の下面深度分布

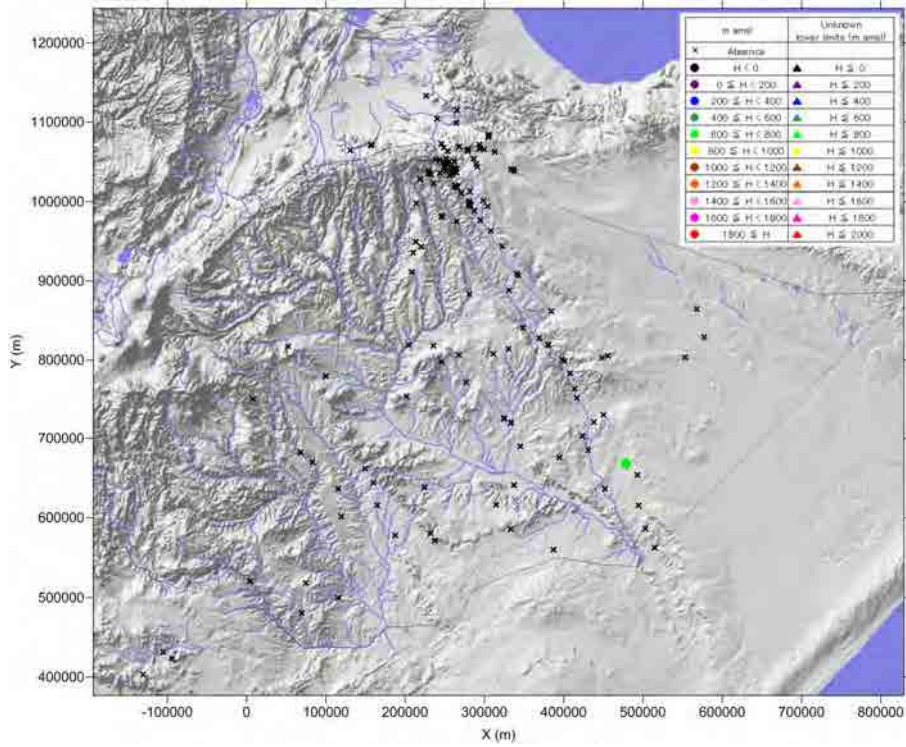


図 4.40: Beletwein 帯水層の下面深度分布

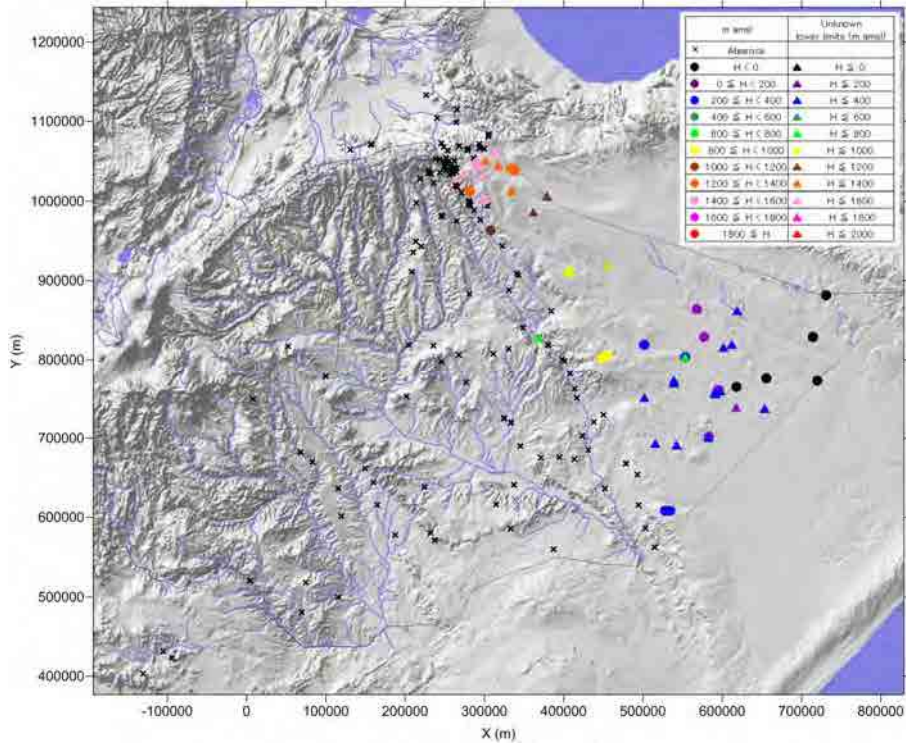


図 4.41: Jessoma 帯水層の下面深度分布

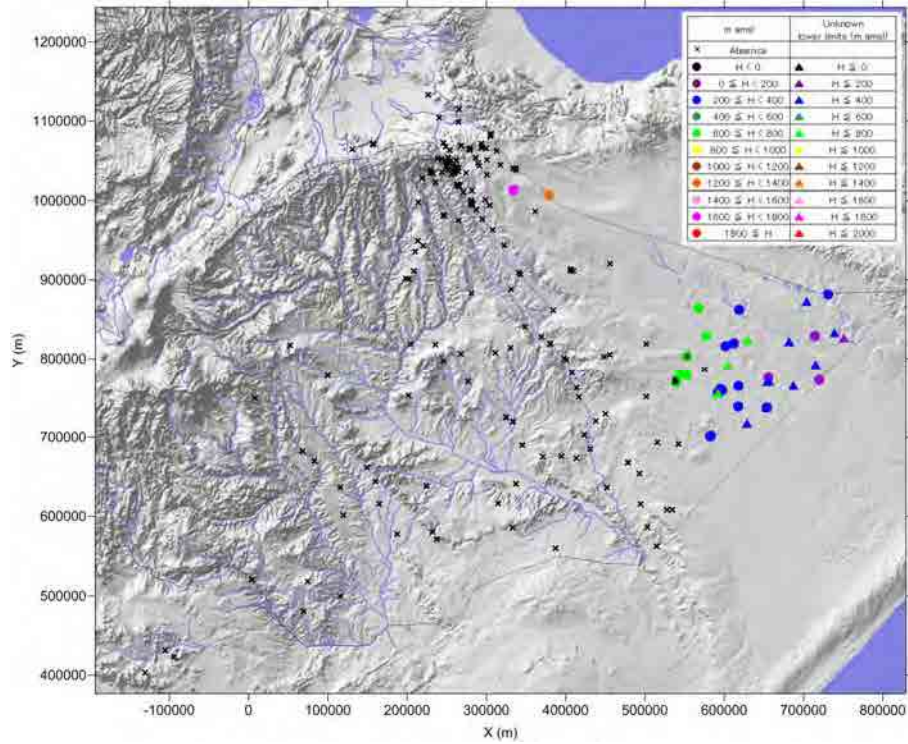


図 4.42: Auradu 帯水層の下面深度分布

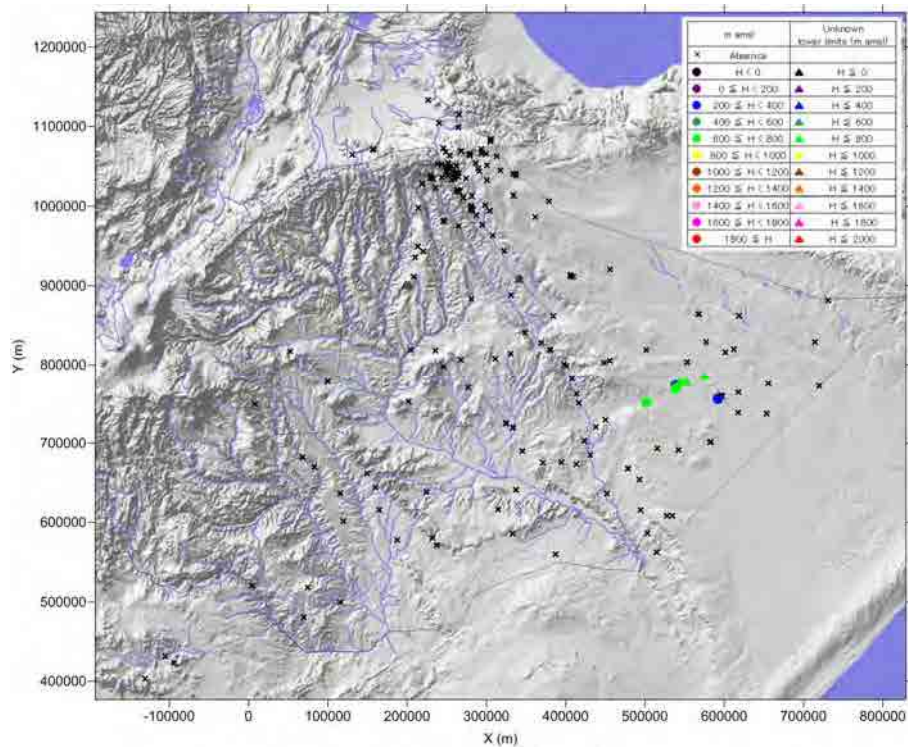


図 4.43: 玄武岩(古期玄武岩)帯水層の下面深度分布

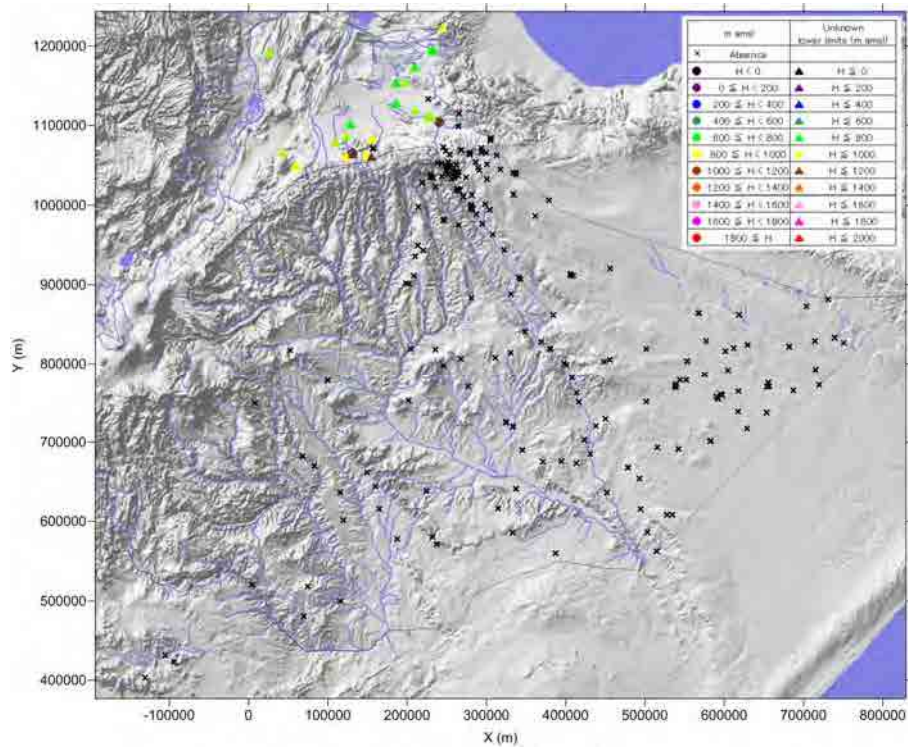


図 4.44: 玄武岩(新期玄武岩)帯水層の下面深度分布

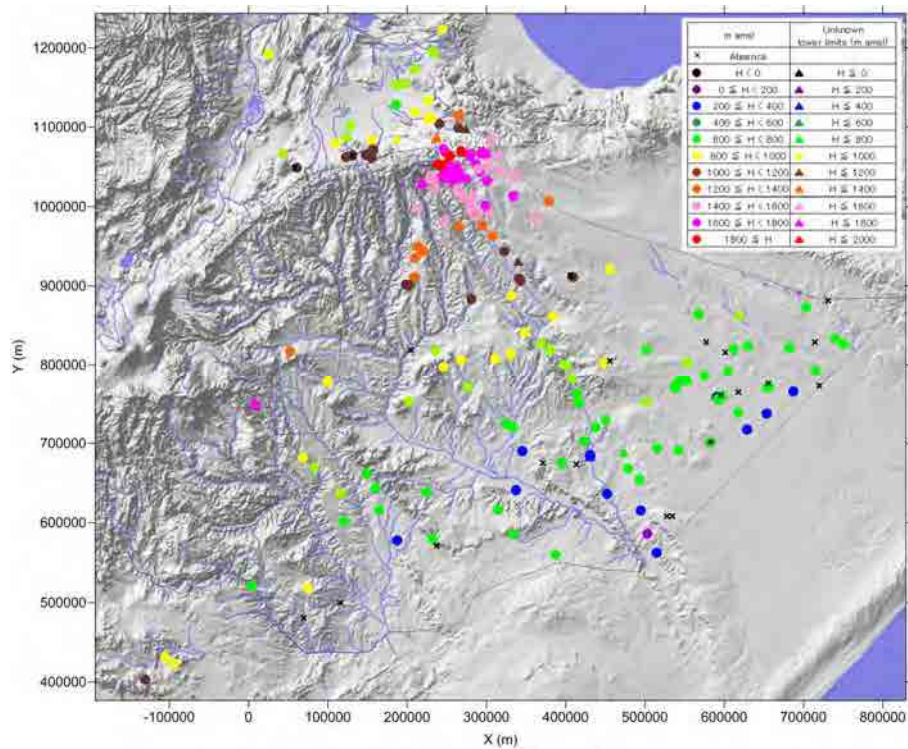


図 4.45: 第四系帯水層の下面深度分布

4.3 参考文献

1. AQUATECH (AB) Pvt. Ltd. (1999): Technical Proposal to Conduct Hydrological & Hydrogeological Studies, The Nine Zones of the Somali Region.
2. Hadwen, P., Aytenffisu, M. and Mengesha, G. (1973): Groundwater in the Ogaden.
3. Hillini Water Well Driling Company plc. (2011): Fafan Integrated Development Project, Water Resources Development Subproject; Well Completion Report Final of 4 Boreholes in Kobijara.
4. OWWDSE (Oromia Water Works Design and Supervision Enterprise) (2007) : Ramis – Mojo – Erer and Daketa - Wester Jerer Subbasins Groundwater Investigation Project. Inception Report (draft).
5. SHAAC Engineering Consulting plc. (2008): Scheme Assessment Mapping Project Final Report
6. SHAAC Engineering Consulting plc. (2009): Alternative Water Source Investigation of 26 Sites in Dhagahbur, Warder and Fik zones, SRS of Ethiopia, Final Report.
7. SHAAC Engineering Consulting plc (2009): Hydrogeological Mapping Project, Report.
8. SHAAC Engineering Consulting plc. (2011): Site hydrogeological Investigation, Jarar valley Area, Final report, UNHCR.
9. SHAAC Engineering Consulting plc. (2011): Hydrogeological Investigation of 19 Sites in Gode, Afder, Liban, Dhagahbur, Korahe, and Warder zones, SRS of Ethiopia, UNICEF, Final Draft Report.
10. SHAAC Engineering Consulting plc. (2012): Water Quality Survey, Final Report.
11. Swartz, D. H. and Arden, D. D. Jr. (1960): Geologic History of Red Sea Area, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., V. 44.
12. Tamiru, A. (2006): Groundwater Occurrence in Ethiopia, Addis Ababa University, Ethiopia.
13. Tesfaye, C. and the Regional Geology Department, Ethiopian Institute of Geological Survey (EIGS) (1988): Hydrogeological map of Ethiopia (1:2,000,000).
14. Water Mines and Energy Resources Development Bureau, Somali National State (2002): Water Supply Source Verification of Jijiga, Warder and Filtu Zonal Administration Towns. Draft Report.
15. Water Works Construction Enterprise, Somali Regional State (2007): Final Drilling Report of Hadow Boreholes; Drilling Project Well No-1.

16. Water Works Construction Enterprise, Somali Regional State (2007): Final Drilling Report of Fafan (Golo Ajo) Boreholes; Drilling report of Well No-1 and No-2.
17. Water Works Design and Supervision Enterprise in Association with Somali Design and Supervision Works Enterprise (2012): Fafem – Jerar Sub Basins and the Adjacent Eastern Areas Groundwater Potential Assessment and Supervision of Test and Pilot Production Wells Drilling Project, Inception Report (Final), Ministry of Agriculture, Ethiopia.
18. WWDSE (2004): Wabi Shebele River Basin Integrated Development Master Plan Study Project, Final Report, Phase II – Data Collection, Site Investigation, Survey & Analysis, Section II Sectoral Studies, Volume 1 – Natural Resources, Part 1 – Geology.