

研究報告

南島原市の水理地質

よしたに
葭谷 武司*

Hydrogeology of the Minamishimabara city

Takeshi YOSHITANI

1 まえがき

地球上に存在する水は13.8億km³(≒1.4×10¹⁸m³)とされている。その内97.4%が海水、淡水は2.6%である。淡水の内訳は雪や氷が1.99%、地下水が0.66%、河川湖沼は0.01%以下となっている。河川水にいたっては0.0001%にすぎない(図1)。21世紀になって最も不足する資源は水と言われて久しいが、これらの数字を眺めるともっともなことである。

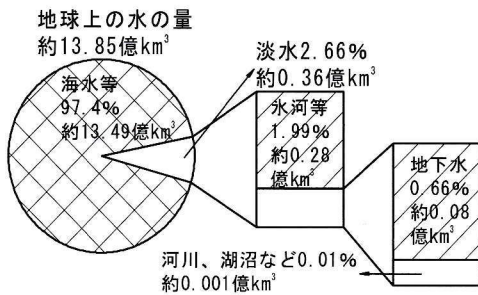


図1 地球上の水の割合
見えない巨大水脈、地下水学会 p. 20

我々にとって不可欠な資源として水の他に油がある。私が社会人になりたての頃、原油の埋蔵量は残り数十年と言われていた。あれから30余年経過したが枯渇していない。技術の進歩によって新しい油田(最近ではシェールオイル)が次々と発見され枯渇年数が延びているからである。一方、水については新たな水源というものはない。無計画に使い続けて水源を汚濁してしまえばいずれは底をついてしまう。そこで大切な水が我が国ではどのように使われているかを示したのが図2である。農業・工業・生活用水の内、最も多いのが農業用水である。農業用水は全体使用水量の2/3を占める。農業用水が大量の水を必要とするのは灌漑農業にある。経済規模が大きくなった現代において雨水だけに頼る原始的な農業ではどうてい間に合わない。

農業用水の水源は80%以上を河川に依存している。その一方で河川が発達しない地域では地下水に頼らざるを得ない。そのような地域が島原半島南部である。同地域は平坦地が広がり、肥沃な土に恵まれてはいるものの大きな河川がない。河川があっても生活用水を優先する。自然、農業用水は井戸に頼ることになる。井戸掘削においては経済的な位置選定のために掘削前に電気探査を実施する。ところが電気探査はあくまで比抵抗値の値にすぎない。比抵抗値だけでは深層地下水の有無を判断することはほぼできない。そこで水理地質構造を把握する地質踏査が重要となる。井戸の位置を選択するための

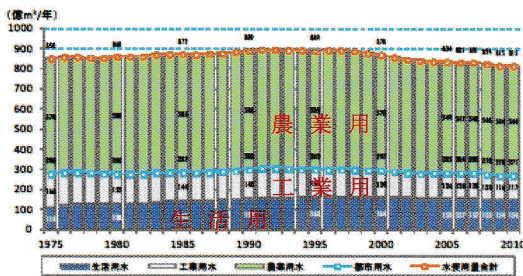


図2 全国の使用水量
<http://www.mlit.go.jp/common/001006494.pdf>

*株式会社親和テクノ

主役は電気探査ではあるが、実のところ地質踏査の成果にかかっている。本書は当社が長崎県島原振興局から受注した水源調査業務をとりまとめ水理地質調査の一例を示したものである。

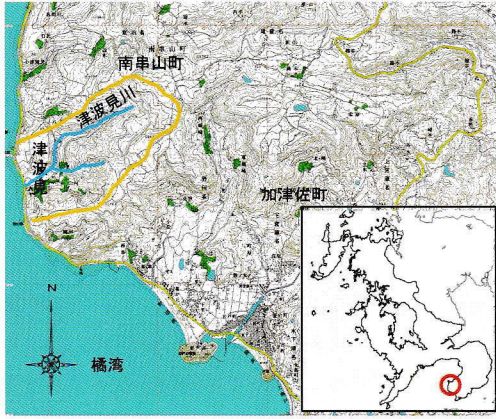


図3 調査位置図

2 地形地質概要

調査地は長崎県南島原市津波見地区である。調査地には標高100～150mの分水嶺が連なりその中央に津波見川が南西流する。津波見川は長さ1.89km、流域面積は2.7km²を有する二級河川である。津波見川は県内の河川の中では短い部類に入るが流量は豊富である(写真3、8)。

表1長崎県の二級河川

河川名	流路長(km)	所在地	河川名	流路長(km)	所在地
1 彼柱川	19.3	川棚町	6 金田川	9.8	佐世保市
2 郡川	15.9	大村市	7 出津川	9.5	長崎市
3 雪浦川	12.9	西海市	8 東大川	9.1	諫早市
4 千々石川	12.7	雲仙市	9 長与川	8.9	長与町
5 鹿尾川	9.9	長崎市	10 伊佐ノ浦川	7.6	西海市

調査地の地質は雲仙火山の基盤である第四紀更新世口之津層群加津佐層と南串山層である。加津佐層は層厚90m、半固結の堆積岩を主体とする。加津佐層を整合に覆う南串山層は層厚140m、主に凝灰角礫岩からなる(参考図書1、pp. 192-194)。これらは東西方向の断層によって切られている。

3 電気探査(比抵抗法垂直探査)

電気探査はシュランベルジャー法によって10地点(S-1～10)実施した。シュランベルジャー法は図4に示すように観測点(中心点O)に対して直線状に電流電極A、Bと電位電極M、Nをそれ

ぞれ対称に配列し、電極間隔Lを順次拡大し中心点における垂直方向の見掛け比抵抗を測定する方法である。測定深度はL/2に対応する。シュランベルジャー法で測定される見掛け比抵抗ρ_aは(1)式によって計算される。解析はリニアフィルタ法と非線形最小二乗法を用いて逆解析を行うマルチレイヤー解析を使用した。

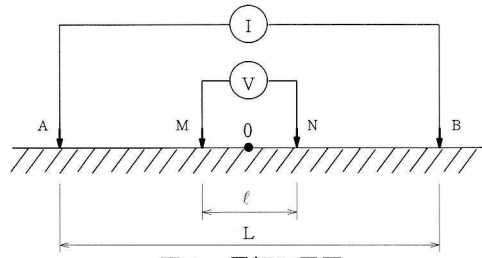


図4 電極配置図

$$\rho_a = k \times \frac{V}{I} \quad K: \text{電極配置係数} \dots (1)$$

$$k = \frac{\pi \times (L^2 - \ell^2)}{4 \times \ell}$$

L: 電流電極A, B間の間隔(m)

ℓ: 電位電極M, N間の間隔(m)

V: M, N間の電位差(V)

I: A, B間の通電電流量(A)



写真1 測定機材(上)と測定状況(下)

4 地質構造

地質は不透水層である火山性砂岩を透水層である凝灰角礫岩が覆っている。北からA、B、C断層が東西に伸びる。その断層によってI～IVの水理地質ブロックが形成されている(資料1地質平面図)。

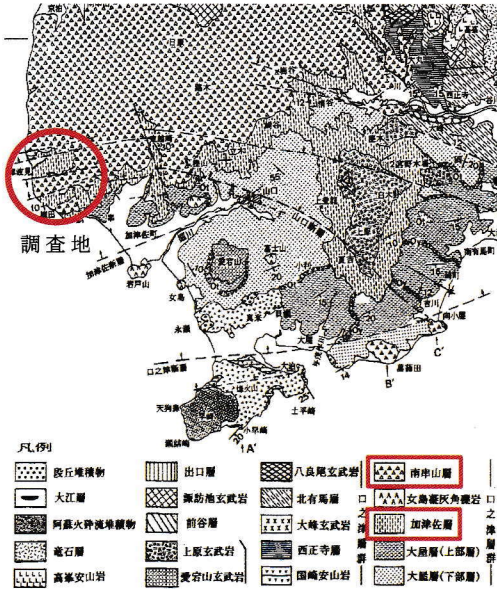


図5 広域地質図(参考図書1pp.205-206)



写真3 火山性砂岩

この山体の裾を流下する津波見川河床には火山性砂岩がいたる所で露出している(写真3)。このことがメサ地形(卓上台地)の成立を示唆している。かつての津波見川は(現在より上にあつて)凝灰角礫岩(写真2)を浸食し河床を低下させた。やがて硬質な火山性砂岩に至って浸食作用が停止し現在の形となった。この浸食作用がメサ地形をつくったと考える(図6)。

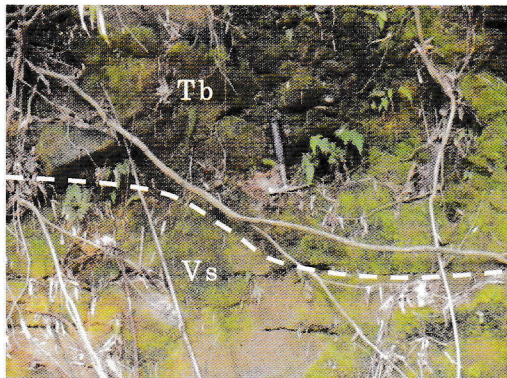


写真2 火山性砂岩(Vs)と凝灰角礫岩(Tb)

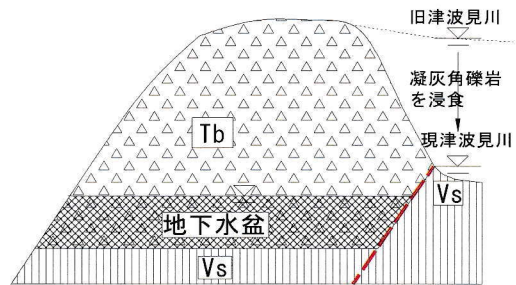


図6 凝灰角礫岩中の地下水盆

現在の津波見川の河床は火山性砂岩の分布高を表している。その河床勾配を表したのが資料4津波見川河床勾配図である。同図によればb地点を境に上流が13%、下流は6%である。河床=火山性砂岩であるから火山性砂岩は上流に向けて丘をつくっていることになる。これをIブロックの山体に適用すると、Iブロック中の自由地下水は火山性砂岩がつくる地中の丘を不透水基盤として、ゆっくりと海に向かって流れていることが推定される。その際、地表から浸透した地下水が凝灰角礫岩中に含まれる鉄分と反応して岩石を化

(1) Iブロック(電気探査地点S-2、5)

A断層は火山性砂岩と凝灰角礫岩を分ける北落ちの不連続面である。A断層の北(津波見川右岸)には分厚い山体がある。山体は急崖と山頂部の平坦地からなるメサ地形を形成している。

学的に風化させた。そしてIブロックとIVブロックに強風化凝灰角礫岩を残した。一方、火山性砂岩の色調は暗灰である(写真3、5)。地下水が火山性砂岩中に浸透しないため化学的な風化がなされなかったであろう。

(2) IIブロック(電気探査地点S-1、3、4)

B断層の北、S-4付近は東西に伸びるやせ尾根になっている。このやせ尾根から津波見川に直交する沢地形が発達する(図7.1)。降雨は一旦、凝灰角礫岩中に浸透し凝灰角礫岩と火山性砂岩との境を出口とする湧水に姿を変える。沢は湧水が流出した時に刻まれた痕跡である。Iブロックのように火山性砂岩が地下深くにあれば地下水は地中深く浸透するが、IIブロックでは火山性砂岩が地表付近にあるため沢が作られたことになる。IIブロックは地質の透水性の差によってつくられた地形である。

また津波見川左岸の斜面末端には凝灰岩(Tf)と火山性砂岩(Vs)が露出する。これは斜面末端を薄く覆っていた凝灰角礫岩(Tb)が削剥されたためである。

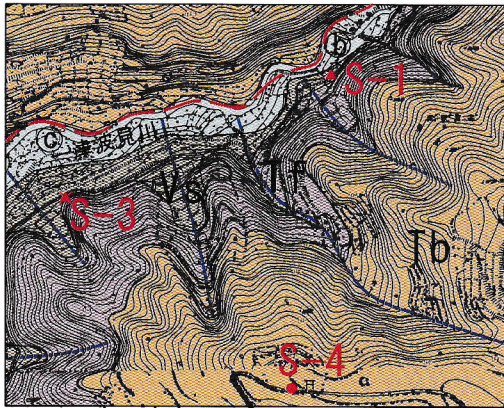


図7.1 IIブロックの水系

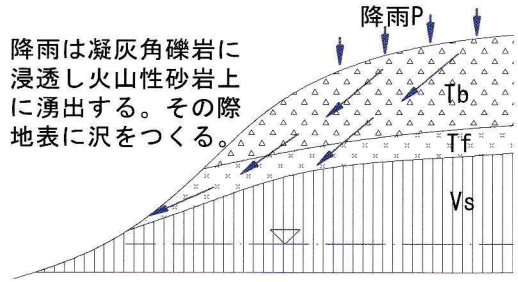


図7.2 IIブロックのイメージ

(3) IIIブロック(電気探査地点S-6、7)

やせ尾根と沢が東西に指交する。やせ尾根は凝灰角礫岩、沢は火山性砂岩からなる。標高90~100m以下には火山性砂岩、それ以上は凝灰角礫岩が分布する。IIブロック同様、凝灰角礫岩と火山性砂岩の境界が凝灰角礫岩中の地下水の出口となっている。IIブロックでは沢となってその痕跡を残したが、IIIブロックでは地下水の供給量が格段に違うため河川となっている。

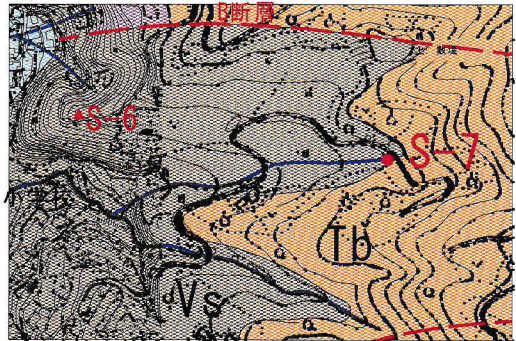


図8 やせ尾根と沢が指交するIIIブロック



写真4 IIIブロックの尾根をつくる凝灰角礫岩



写真5 IIIブロックの沢に分布する火山性砂岩



写真7 ジャガイモ畑の強風化凝灰角礫岩

(4) IVブロック(電気探査地点S-8、9、10)

IVブロックはC断層の南に位置し西南西に延びた尾根の頂部である。ジャガイモ畑が一面に広がる中で風化した凝灰角礫岩が露出する(写真6, 7)。沢地形が発達せず風化した凝灰角礫岩が分布することから、Iブロックと同様な地質構造を有しているものと推定できる。



写真6 IVブロックに広がるジャガイモ畑

5 地下水盆

(1) Iブロック

津波見川右岸のメサ地形をなす山体には目立った沢地形が認められない。これは降雨が地下にそのまま浸透することを意味する。火山性砂岩を不透水基盤とする地下水盆が凝灰角礫岩中に形成されていることが考えられる。

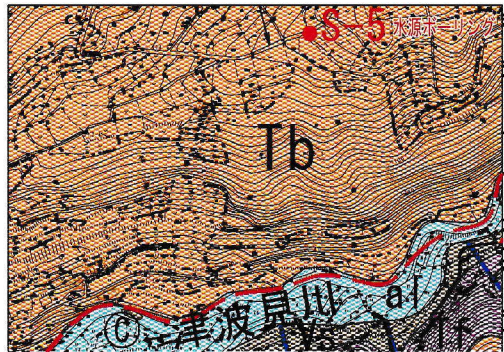


図9 沢地形が認められないIブロック
Tbでは地表水が地下に浸透し沢をつくらない

(2) IIブロック

IブロックとIIブロックの境界をなす津波見川にはかなりの水量がある。普通、河川は遙か山奥で小さな沢がいくつかでき、それらが集合して河川となる。津波見川の場合、兩岸から湧水や流れこみがないため、その流量を維持する水源は上流域に限定される。その上流域はわずか0.4km²すぎない(図10)。にもかかわらず、絶えることのない水量を維持できるのは、供給源となる(0.4km²)の山林に

かなりの地下水が存在すると考えられる。このような地下水は帯水層である凝灰角礫岩によってもたらされるものである。津波見川に水を供給する山林を含む一帯は有望な水源ボーリングの候補地と考える。



写真8 津波見川河床
火山性砂岩上に勢よく水が流れている

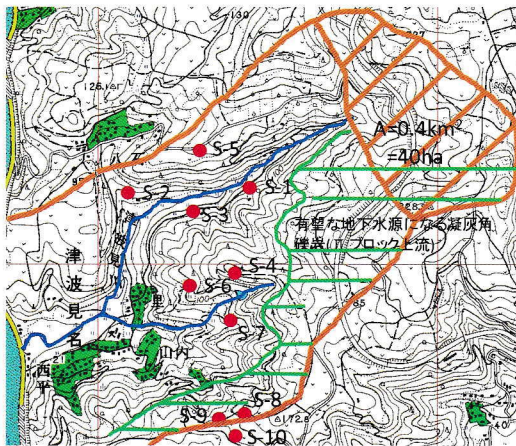


図10 津波見川流量の供給源
斜線：津波見川流量供給源
斜線と横線：凝灰角礫岩分布域

(3) Ⅲブロック

凝灰角礫岩と火山性砂岩の境界に湧水があり、それが河川の始まりとなっている(資料3)。したがって現河川の水量は上流に分布する凝灰角礫岩からの地下水供給量に読み替えることができる。一方、下流は火山性砂岩であるため深層地下水は期待できない。

(4) Ⅳブロック

Iブロックと同様の地質構造である。とこ

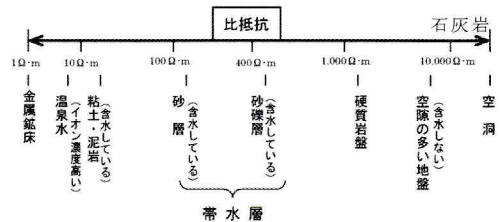
ろが同ブロックの海岸には不透水層(加津佐層)が露出しており、浅い位置に不透水層が分布している可能性がある。

6 比抵抗値

帯水層か否かを判断するために地質と比抵抗値を対応させた(表2、図11)。帯水層として有望なのは600Ω-mを超える凝灰角礫岩である。一方、10Ω-mのような小さい比抵抗値は強風化部または火山性砂岩と考えられる。

表2 比抵抗値と地質

地質	比抵抗値(Ω-m)	備考
Tb	20~1,000	風化部の比抵抗値は小さくなる
Tuff	30	
Vs	20~400	含水すると大きくなる



測点	比抵抗値(Ω-m)		地質	備考
	左	右		
S-1	20	100	Vs	
S-2	20	100	w-Tb	強風化部
S-3	30	80	Vs	
S-4	30	400	Tb,Tf,Vs	Vs含水
S-5	100	800	Tb	
S-6	30	400	Vs	含水
S-7	40	300	Vs	含水
S-8	20	1000	Tb	
S-9	60	200	Tb	強風化部
S-10	30	600	Tb	

図11 比抵抗分布図

<http://jce-hokkaido.com/technics/massmovement/electrical.html>
Tb凝灰角礫岩 w-Tb風化凝灰角礫岩 Tf凝灰岩 Vs火山性砂岩

7 水源ボーリングの提案

(1) 水源ボーリング(井戸)

水源ボーリングの有望地点として3箇所提案した。これらはいずれも帯水層が厚い凝灰角礫岩の分布域である。予定深度は地表から標高0mまでとした。標高0mを井戸の下端としたのは海水の浸出を懸念したためである。

表3 有望視される水源ボーリング地点

順位	探査地点	深度(m)	注意点
1	S-5	130	S-5より離れて上流側に実施すると凝灰角礫岩が薄くなる可能性がある。
2	S-8,10	150~140	掘削深度より浅い位置に砂岩が出現する可能性がある
3	IIブロック山側	150	

(2) 影響圏

水源ボーリングの有望地点であっても、既存の井戸に影響があれば井戸掘削は困難である。表4に既存の揚水試験結果を示す。優先順位1位のS-5とW-1との距離は137m(地質平面図)、これとほぼ同じ距離を有するのがW-2とW-3である。揚水量1,777m³/dに対して0.5mしか低下していない。この結果がS-1にそのまま適用はできないものの井戸(S-5)掘削による影響は許容範囲におさまりに思える。

表4 連続揚水試験結果

本井戸	観測井戸	距離L(m)	揚水量 Q(m ³ /d)	水位降下(m)	
				ΔS(本井戸)	Δs(観測井戸)
w-6	w-4	200	864	0.81	+1.0
	w-5	73		0.81	+0.1
w-2	w-4	465	1,777	4.98	+0.04
	w-5	550			0.05
	w-3	138			0.5
	w-6	520			0.23
S-5	w-1	137			

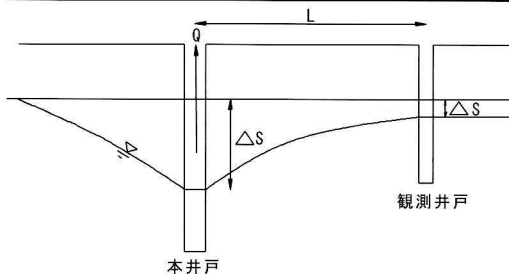


図12 揚水試験のイメージ

本井戸で地下水を汲み上げ地下水位を観測井戸で測定する。本井戸の揚水能力と影響圏の把握を目的とする試験

8 まとめ

- ①10地点の電気探査と地質踏査を実施
- ②基盤地質は下位より火山性砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩。凝灰角礫岩が帯水層。凝灰岩

と火山性砂岩は難透水層。

③断層を境とした4ブロックに区分けした。

- ・Iブロック:降雨が地下深部に浸透し地下水盆を形成
- ・IIブロック:山側に地下水源になる凝灰角礫岩が分布。津波見川の河床に難透水層が分布
- ・IIIブロック:下流は火山性砂岩が分布する。上流は凝灰角礫岩が地下水源になっている。下流域を流れる小河川の流量は凝灰角礫岩からの湧水量に等しい
- ・IVブロック:降雨が地下深部に浸透し地下水源を形成。Iブロックとは異なり浅い位置に難透水層が分布する可能性がある

おわりに

最後に電気探査について触れておく。電気探査は帯水層と不透水層との比抵抗値差が大きい地域では大変有力である。そのような地域が奄美沖繩地域である。同地域では泥岩の上位を石灰岩が覆う。その石灰岩には空隙が多いため地下水盆が形成される。石灰岩の比抵抗値は大きく泥岩は比抵抗値が小さい。その差が大きいので電気探査によって地質境界がすぐわかる。

私が電気探査を知ったのは大学3年の時である。企業のアルバイトで沖繩島南部、離島そして米軍基地にも出かけた。ある時、米軍基地から帰ってくると教授が古い英語論文(おそらくFLINT)を持っておっしゃった「米軍基地の下には石灰岩の地下水盆がある。地上は基地として使われても仕方無いが、地下水は県民のために使ってよいとは思わないか」。なぜ米軍基地へ電気探査に出かけたのか。既に世界された教授の意図が今頃になって分かるのである。

水需要が下がることはおそろくない。人口爆発や生活様式の高度化が背景にあるからである。ダム開発は環境破壊が問題視され、ダムに頼らなくても水は余っているという意見もある。もはや地上にダムはできないような気がする。そんな時、以前在籍していた会社

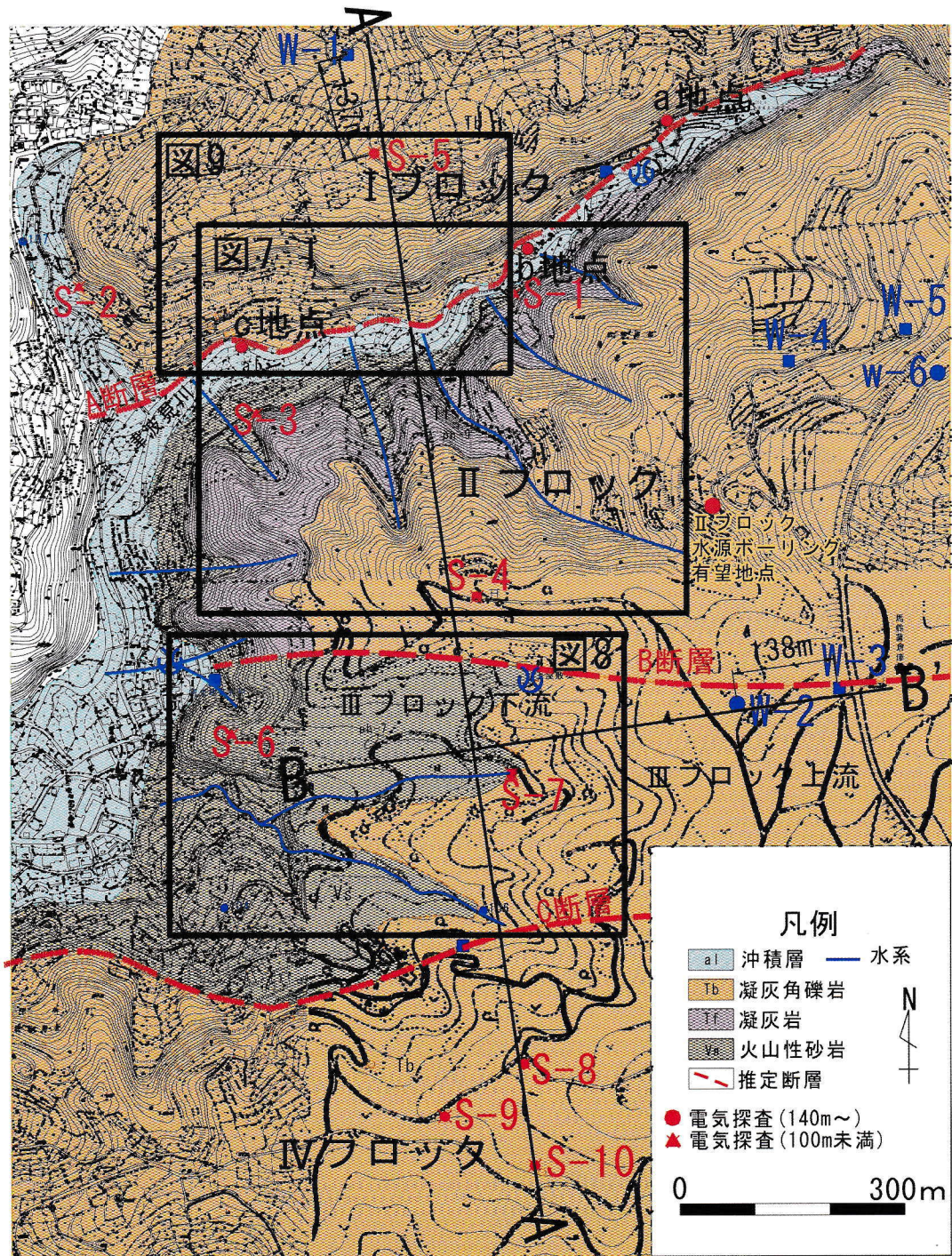
の同僚から20数年ぶりに電話を頂いた。今は喜界島で地下ダムに携わっているとのこと。地下ダムはなんとなく環境に優しそうである。その地下ダムの実績は圧倒的に沖縄奄美地域である。ところで長崎県には4箇所の水道水源地下ダムがある。石灰岩がなくても地下ダムはできるのである。

謝辞

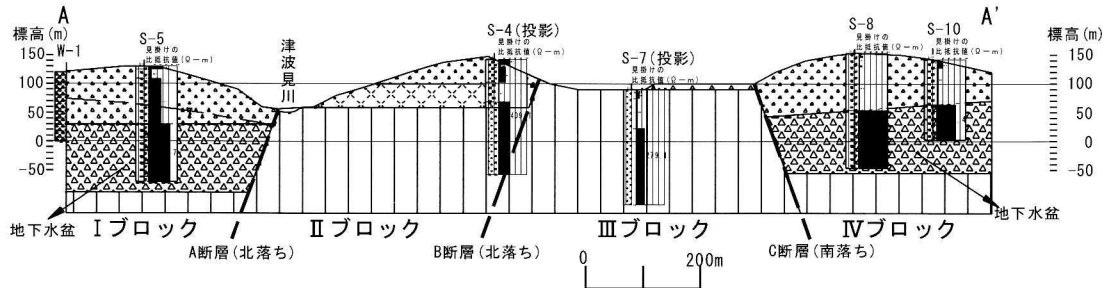
本誌をまとめるにあたり長崎県島原振興局土地改良課の皆様には親しくご指導頂きました。また、加津佐町津波見名の皆様にも惜しみないご協力を頂きました。地質図の作成において参考図書1はたいへん参考になりました。ここに記して感謝申し上げます。

参考図書・サイト

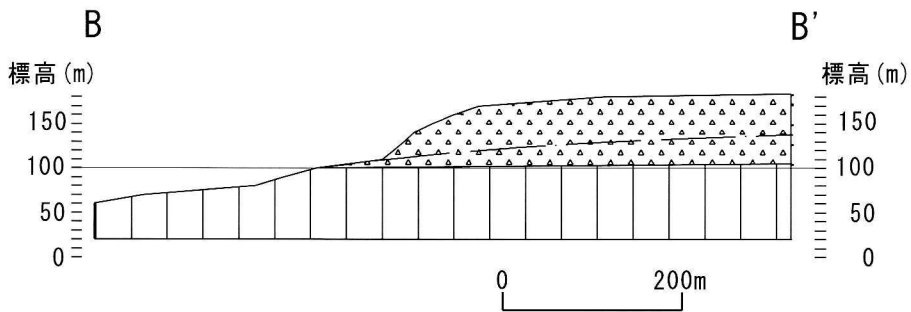
- 1) 大塚裕之他(1995)「鹿児島大学理学部紀要、島原半島南部の地質の再検討」
- 2) 井田徹治(2001)『地球の資源ウソ・ホント』
- 3) 中村靖彦(2004)『ウォータービジネス』
- 4) 榎根 勇(2009)『見えない巨大水脈』
- 5) 榎根 勇(2013)『地下水と地形の科学』
- 6) 藤岡換太郎(2014)『川はどうしてできるのか』
- 7) 産業技術総合研究所地質調査総合センター
<https://www.gsj.jp/Map/JP/environment.html>



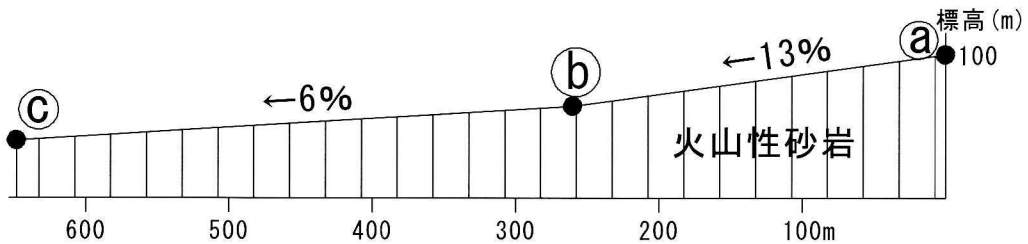
資料1 地質平面図



資料2 A-A' 水理地質断面図



資料3 B-B' 水理地質断面図



資料4 津波見川の河床勾配

