

9. REE 溶存量による地下水流動解析の試み—愛媛県西条市を例として— A Study of the Groundwater Flow Analysis using the REE pattern -Application for the Alluvial Fan Area in the Saijyo, Ehime Prefecture-

岡山理科大学 ○中山 学
岡山理科大学 能美 洋介
島根大学 木村 純一
中国四国農政局 加藤 俊典

1. はじめに

地下水は生活・産業における重要な水資源である。これを利用・保全していくうえで、地下水の流れ、帯水層の分布・構造を把握することは重要である。また、地下水の流れや分布は、植生などにも影響を与えると考えられ、重要な環境要素といえる。本研究は地下水の流動状況を把握する手法開発の一環として、地下水中の溶存物質、とくに REE(希土類元素: Rare Earth Element)の存在パターンから流動解析を試みたものである。REE は、周期表の第 3 族のうち、原子番号 57~71 の 15 元素(ランタン系列)の総称であり、化学的性質に共通点が多く安定していることから、溶存量や変動パターンをもたらず要因を単純化して考えられると思われる。

2. 研究地域

本研究は愛媛県西条市の加茂川扇状地を対象に実施した。この地域には、海岸線より約 6km 南に MTL (中央構造線: Median Tectonic Line) が通っており、それを境界に南側には三波川帯の急峻な山地が広がっている。そこから流下した河川が山塊出口において砂礫層を厚く堆積させ、複合扇状地を形成し、海岸平野へと移化している。この扇状地から平野にかけて良質の地下水が豊富に胚胎され、生活・農業などに利用されている。この地域の地下水利用の歴史は古く、「うちぬき」と呼ばれる簡易作井法によって被圧地下水がひろく利用されている。なお、本研究地域は中国四国農政局による地下水調査「新居浜平野地区」の実施地区の一部であり、調査地区内でも最大の地下水利用地域である。

3. 採水について

本研究でおこなった微量元素分析は ppt レベルで物質の存在量を測定するため、取り扱う器具に付着している塵埃を徹底的に除去しておく必要がある。このため器材はすべて、アルカリ溶液 (NaOH 水溶液, 1N), 酸 (HCl 水溶液, 1N) で洗浄し、超純水で濯いだものを使用した。また採水器材についても試料に金属元素が溶出するのを避けるため、金属製を避け、上記の洗浄処理に耐えうる PFA テフロンやポリプロピレン製のものを使用した。また、直接採水できない箇所やポンプによる採水が出来ないボーリング孔などでは、自作の採水器により取水した。

西条市内の水位観測井・農業用井戸・自噴水などの地下水を 18 ヶ所から、また主要河川である加茂川から 1 ヶ所の合計 19 地点から採水をおこなった (図.1)。また採水時に、採水と同時に水位・水温・EC の測定をおこなった。

4. 成分分析

主要イオンと微量元素の測定をそれぞれイオンクロマトグラフィーと ICP-MS (誘導結合プラズマ源質量分析法) を用いて行った。ともに多成分同時測定が可能な分析法である。イオンクロマトグラフィーでは、Cl, NO₃, SO₄, Na, K, Mg, Ca などをサブ ppm レベルで、ICP-MS では、Li, Rb, Zr, La, Nd, Eu など計測誤差の比較的小さな元素 39 種類を ppt レベルで測定した。

5. 結果

(1) 採水時のデータ

水位・水温・電気伝導度など採水時のデータを表 1 にまとめた。

(2) 主要イオン

測定結果の一覧を表 2 にあらわす (単位は ppm)。また陽イオン・陰イオン別にその成分比率を三角ダイアグラムであらわす (図.2)。

(3) REE

ICP-MS により 39 種類の微量元素を一斉測定したが、サンプルによっては測定レンジを外れてしまい正確な測定ができないものがあつた。こういったデータを除き、全サンプルにわたって信頼できる測定を行うことができた元素を抽出した結果、La から Lu の 14 元素についてのデータが得られた (表.3, 単位 ppt)。本研究では、これらの元素の溶存量とその構成パターンにより考察を行う。なお、S01 地点においては採水時に測定した電気伝導度から海水侵入の可能性が高いため、微量元素の測定は行っていない。

6. 考察

(1) 主要イオン

全体的に陽イオンはカルシウム型、陰イオンは SO₄ 型が主体である。加茂川の左岸と右岸に分けて評価すると、左岸では海水が侵入しているものと考えられる S01 地点を除くと、S02 の陽イオン成分が異なるがそのほかは同じような性状を示している。このため、自噴井である S15 と S16 は掘削深度や水頭などから異なる帯水層であるとされているが、両者を区別することは非常に難しく、自由地下水である S04 などとも大きな違いは見られない。また右岸は、陽イオンは 3 ヶ所を除き Ca が 50% 以上の割合で溶存していた。陰イオンについては、2 ヶ所以外は SO₄ 型であったが、さらに、加茂川のパターンに近いものと、NO₃ がきわめて低い値で一定して、SO₄ と Cl の割合が変化しているもの、の 2 つのグループに分類することができる。左岸と右岸を比較すると、ともに Ca 型・SO₄ 型が主流ではあ

るが、陽イオン・陰イオンともに左岸では1つのグループとして集まっており、右岸ではその分布は広がっているように読みとれる。この両者の違いは、地下水を涵養していると考えられる河川が、左岸では加茂川だけであるのに対し、右岸では加茂川の他に室川の水系が存在すること、左岸が農業地であるのに対し、右岸は商業地・住宅地が主体であることなどが考えられるが詳しくは不明である。

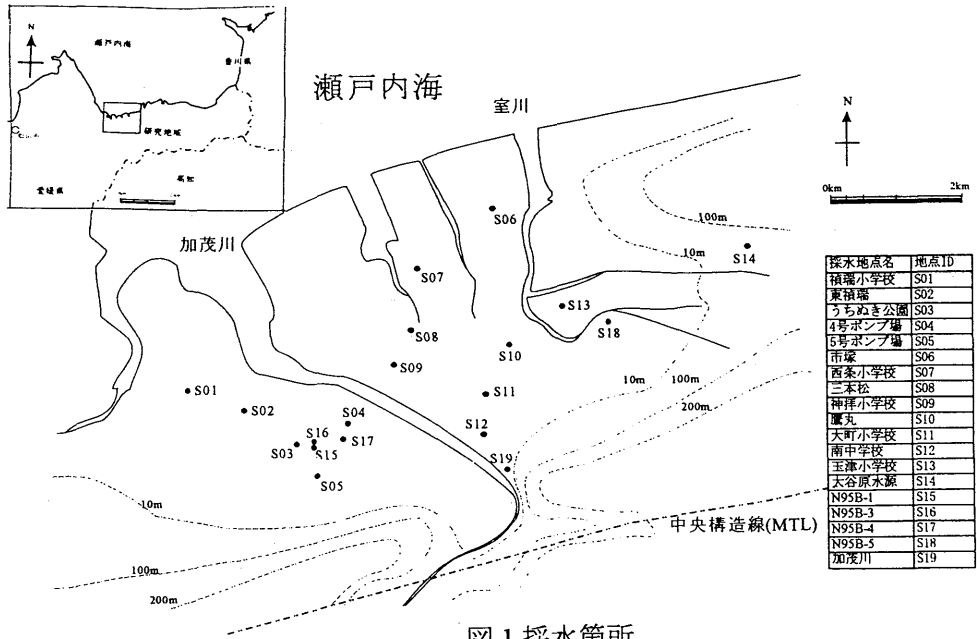
(2) REE

得られた REE を横軸に元素を質量数順に並べ、縦軸にその存在量の対数を折れ線グラフに表す (図.3)。このグラフが示す REE パターンを波形の類似性で分類したところ、左岸・右岸でそれぞれ4種類に分類することができた (図.4)。これによると、左岸では主要イオンでは区分することが難しかった S15 と S16 が一見して異なるパターンを持っていることが見て取れる。自由地下水と自噴水においてもパターンに差異が認められた。また右岸でも、加茂川の示すパターンと室川水系の起点として考えられる S14 のパターンにはっきりと差異がみられた。同一種類に分類された地下水は帯水層・流動経路・水源などに共通するものがあると考えられる。

今回 REE パターンを用いたことで、主要イオン分析では1つの集合に見えたところを数種類に分類することができた。REE を解析することで帯水層の区分及び地下水の流動がより詳細に行えるようになるであろう。ただ今回グラフの波形を視覚的に分類したため、その基準に曖昧な点があり解析を行うに十分でない。また水を含めた土地利用や地下での滞留時間、その他環境が REE に与える影響も詳しくはわかっていない。REE パターンを解析する手法や、環境からの影響を明確にしていく必要があるなどの問題が残されている。

7. おわりに

本研究の遂行にあたり、中国四国農政局地下水調査「新居浜平野地区」の手法開発調査費の一部を使用した。また、現地での調査・採水にあたり、西条市役所水道課および愛媛県西条地方局土地改良課に御協力いただいた。ここに記してお礼申し上げる。



採水地点名	地点ID
禎瑞小学校	S01
東禎瑞	S02
うちぬき公園	S03
4号ポンプ場	S04
5号ポンプ場	S05
市塚	S06
西条小学校	S07
三本松	S08
神拝小学校	S09
鷹丸	S10
大町小学校	S11
南中学校	S12
玉津小学校	S13
大谷原水源	S14
N95B-1	S15
N95B-3	S16
N95B-4	S17
N95B-5	S18
加茂川	S19

図.1 採水箇所

表. 1 採水データ

地点名	地点ID	水位	EC	水温	採水深度(m)	井戸の形状	備考
禎瑞小学校	S01	-2.1	4700	16.7	10	ボーリング孔	西条市観測地点
東禎瑞	S02	1.87	98	13.8	-	自噴水	
うちぬき公園	S03		98	14.4	-	自噴水	
4号ポンプ場	S04	-1.65	144	14.8	6.5	浅井戸	土地改良事業井
5号ポンプ場	S05	-1.41	108	15	6.5	浅井戸	土地改良事業井
市塚	S06	-3.57	177	18.3	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
西条小学校	S07	-4.44	223	16.4	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
三本松	S08	-3.14	85	15.3	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
神拝小学校	S09	-2.52	76	18.4	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
鷹丸	S10	-1.23	72	18.7	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
大町小学校	S11	-2.55	108	18.3	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
南中学校	S12	-3.58	111	19.3	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
玉津小学校	S13	-1.67	95	17.7	6.5	ボーリング孔	西条市観測地点
大谷原水源	S14	-3.65	92	17.7	6.5	浅井戸	土地改良事業井
N95B-1	S15	-0.91	85	14.8	-	ボーリング孔	農政局観測井戸
N95B-3	S16	-1.28	89	14.1	-	ボーリング孔	農政局観測井戸
N95B-4	S17	-2.37	96	17	6.5	ボーリング孔	農政局観測井戸
N95B-5	S18	-1.57	146	16.5	6.5	ボーリング孔	農政局観測井戸
加茂川	S19		51	19.2	-	-	河川

表. 2 主要イオン測定結果

ID	F	Cl	Br	NO3	PO4	SO4	Na	K	Mg	Ca
S01S		5855	19				2030	100	305	1480
S02S		2.3		2.16		9.14	7.45	1.95	7.8	11.15
S03S		2.26		2.99		7.97	4.2	0.9	2.9	23.65
S04S		3.11		6.81		11.27	2.85	1.3	2.65	28.7
S05S		3.47		4.64		9.21	5.7	1.85	3.4	27.85
S06S		5.27		6.64		17.16	7.4	28.3	5.25	16.45
S07S		27.92		1.82		13.81	26.95	2	5.65	26
S08S		3.19		0.02		1.17	5.35	2.15	3.8	15.7
S09S		2.34		0.08		5.36	3.55	2.85	6.75	9.7
S10S		2.49		0.12		6.07	4.75	1.1	1.9	27.35
S11S		2.62		4.29		8.75	3.2	1.4	1.95	23.9
S12S		2.08		3.48		9.34	3.4	9.9	1.9	24.1
S13S		3.57		0.15		4.54	9.35	1.75	8.95	21.1
S14S		2.3		4.9		10.2	5.45	1.5	2	18.7
S15S		1.86		1.36		8.02	2.8	0.9	2.3	20.8
S16S		2.24		2.01		7.77	2.85	0.5	2.75	26
S17S		2.79		0.2		8.45	3.3	2	2	22.85
S18S		4.09		7.88		18.03	8.65	1.55	8.9	34.3
S19S		1.31		1.83		5.89	2.95	0.5	1.85	25.25

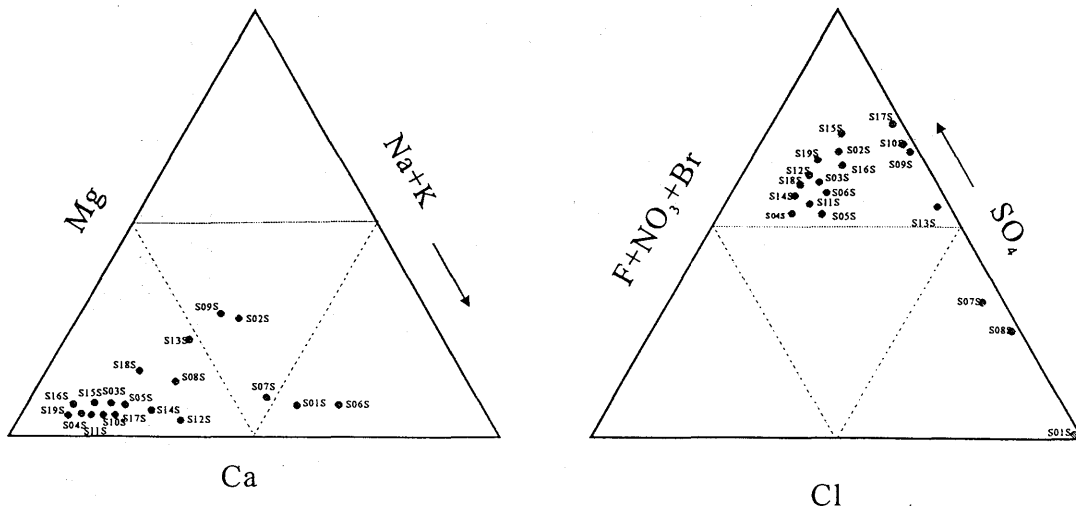


図.2 主要イオン測定結果

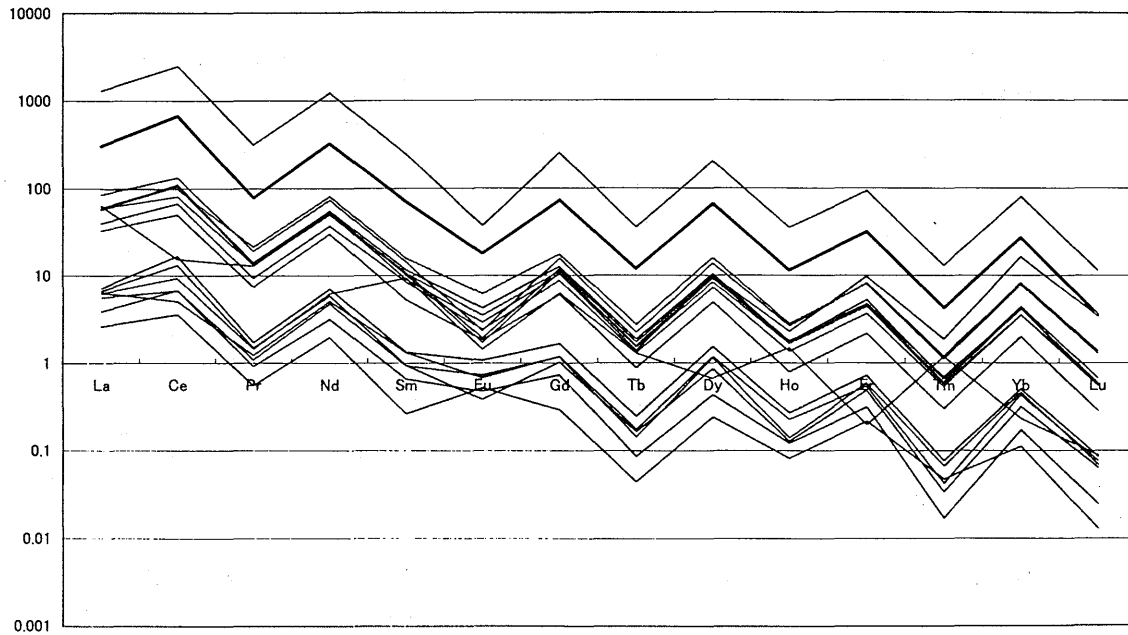


図.3 REE パターン

表.3 REE測定結果

ID	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
S02S	7.176	16.82	1.711	7.119	1.325	1.069	1.659	0.2456	1.53	0.2712	0.7251	0.0766	0.5065	0.0858
S03S	2.619	3.583	0.5487	1.976	0.2652	0.5245	0.2926	0.0443	0.2414	0.0817	0.2161	0.0478	0.1115	0.013
S04S	60.52	107	14.07	55.41	11.6	4.281	12.67	1.869	10.42	1.749	5.252	0.6598	4.414	0.677
S05S	5.63	6.746	1.088	4.779	0.9275	0.7307	1.175	0.1425	1.136	0.1396	0.5909	0.0664	0.4623	0.0694
S06S	33.05	50.33	7.386	30.17	5.267	1.831	6.083	0.8763	4.986	0.7893	2.155	0.3033	1.993	0.2865
S07S	57.02	110.6	13.88	50.69	10.71	1.934	11.73	1.725	9.791	1.779	4.723	0.704	4.123	0.5882
S08S	85.41	133	19.18	73.42	14.2	2.343	15.61	2.231	13.72	2.641	8.129	1.202	8.246	1.375
S09S	6.645	13.11	1.483	5.923	0.9428	0.3842	1.018	0.1648	0.8591	0.1271	0.485	0.034	0.3184	0.0641
S10S	58.3	104.9	13.43	52.97	10.22	1.72	10.74	1.574	9.261	1.714	4.621	0.6112	4.151	0.5712
S11S	58.82	80.76	13.3	50.41	10.61	3.521	11.23	1.523	8.362	1.656	4.38	0.5784	3.55	0.5538
S12S	1299.8	2476	313.4	1220	243.2	37.26	251.4	35.92	203.4	35.44	92.88	13	80.02	11.36
S13S	3.894	6.78	0.9082	3.17	0.6603	0.4762	0.7311	0.0855	0.4369	0.1211	0.3154	0.0171	0.1714	0.025
S14S	63.4	15.46	12.85	52.1	9.023	2.945	10.28	1.384	9.925	2.308	9.686	1.875	16.2	3.399
S15S	6.251	9.35	1.436	6.251	9.35	1.436	6.249	1.294	0.6693	1.489	0.1969	1.184	0.2317	0.0884
S16S	6.338	5.082	1.221	5.105	1.315	0.6787	1.194	0.1764	1.174	0.2272	0.5445	0.0427	0.4323	0.0767
S17S	39.95	67.38	9.342	37.54	8.401	2.406	8.789	1.301	7.301	1.353	3.655	0.5367	3.516	0.6001
S18S	98.91	98.35	21.36	81.93	15.82	6.223	17.48	2.746	16.01	2.819	8.012	1.111	7.862	1.291
加茂川	303.7	671.3	78.58	326.7	70.07	17.79	72.87	11.83	66.58	11.45	31.75	4.274	27.14	3.563

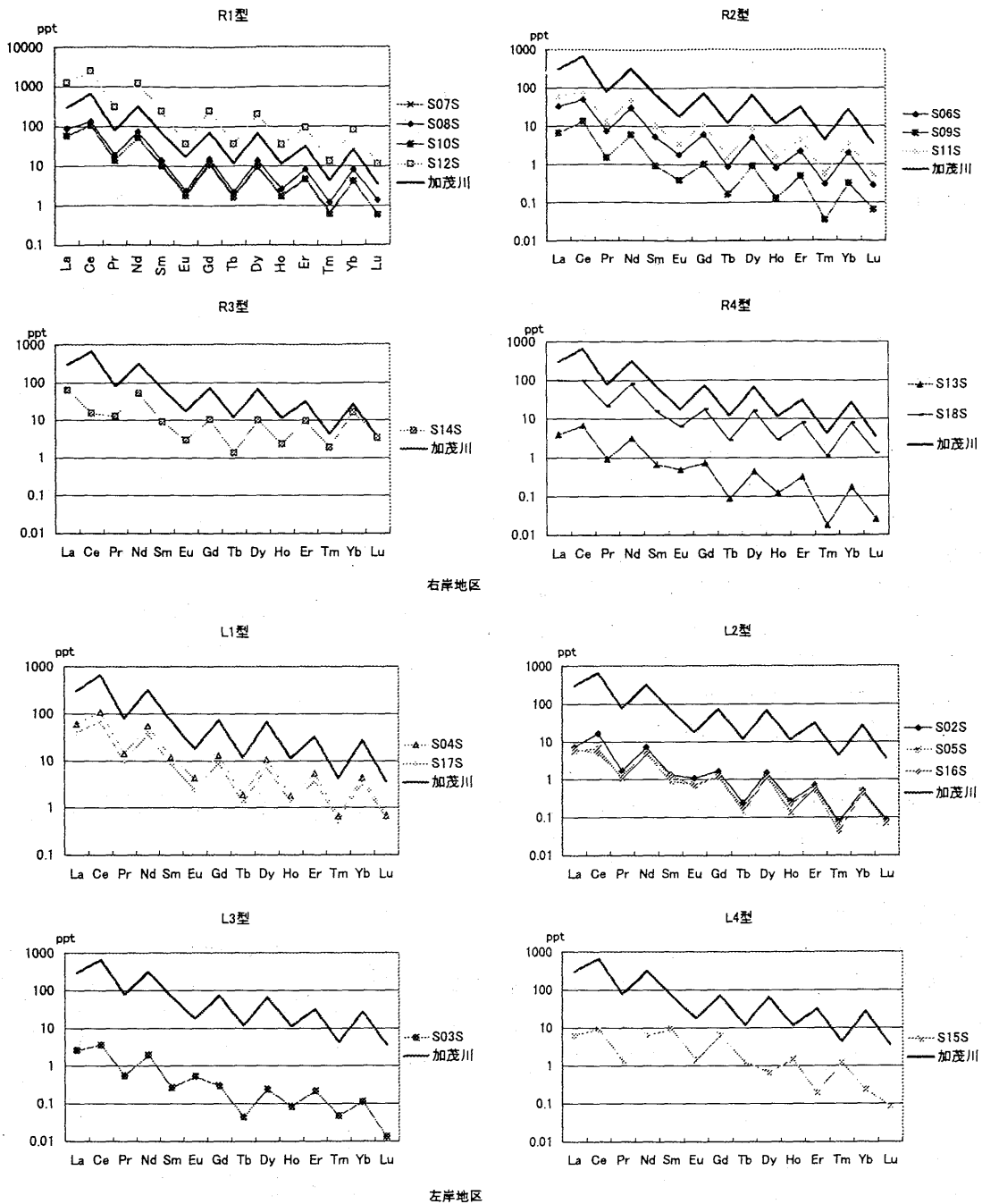


図.4REE 分類結果

[参考文献]

- 1) 栗原権四郎(1972)瀬戸内南岸沖積平野の地質学的研究, 岩井淳一教授記念論文集
- 2) 木村純一・土谷信高・佐野栄・中馬教允・吉田武義(1997)ICP 質量分析法による微量元素定量分析, 地球化学 31, 133-151
- 3) 山本莊毅, 新版地下水調査法(1983)古今書院