

河川流出の重回帰分析による一級河川60流域の 海底地下水湧出量評価

伊藤 成輝¹⁾・丸井 敦尚²⁾

1. はじめに

産業の高度化等によって都市に人口が集中する現代では、沿岸域の水資源確保が重要な課題であり、今後の経済発展を左右すると言っても過言ではない。現在では、表流水と地下水のほとんどがすでに開発されており、新しい水資源が必要である。この状況下で、全国を対象とした海底地下水湧出量分布評価は社会的意義が大きいにもかかわらず、未着手の研究テーマになっている。海底地下水湧出は、陸海の境界を横切って海域に直接流出する地下水と定義され (Church, 1996)、利用しても地盤沈下や塩水化の起こらない水資源と考えられている。その推定湧出量は、海洋への流出量の数%~10%であり (Slomp and Van Cappellen, 2004)、新しい淡水資源として十分な量を有する。

このような広域での海底地下水湧出量の評価法として、年間水収支法が挙げられる。年間水収支法は、有効雨量と河川流出の差から海底地下水湧出量を求める方法で、実測値に基づいて入力値を設定できる。伊藤・丸井 (2007) は、河川流出と最下流観測所の流出高が等しいとした年間水収支法で、全国一級河川流域の海底地下水湧出量を試算し、地質分布をデータに含めることで予測精度向上の可能性を示した。しかし、最下流観測所から河口までが長い流域では、評価精度が低下することが報告された。

そこで本研究は、流量観測所を複数有する流域を対象に、流量と地質別有効雨量との重回帰分析を行い、データ空白域の河川流量増分を予測して、評価精度向上を図った。紀ノ川をモデル流域としたケーススタディで回帰予測の妥当性を確認した後、全国一級河川60流域の海底地下水湧出量を評価した。

2. 研究方法

2.1 年間水収支法の基本式

年間水収支法による海底地下水湧出量の算出式は、以下のとおりである (Zektser and Dzhamalov, 2006)。

$$SGD = P - E - R \quad (1)$$

ここに、*SGD* (Submarine Groundwater Discharge) は海底地下水湧出量、*P* (Precipitation) は降水量、*E* (Evapotranspiration) は蒸発散量、*R* (Runoff) は河川流出である。各項ともに年平均値を用いる。*P-E* は有効雨量といい、土木学会 (1999) によると、地表に達する降雨のうち流出成分になる降雨分を指す^(注1)。

2.2 重回帰分析によるデータ空白域の流量予測

重回帰分析は、複数の独立変数による一次式 (重回帰式) で従属変数の変動を予測する手法であり、データが不十分な領域での河川流量評価に用いられる (Touazi *et al.*, 2004; 手計・吉谷, 2006)。

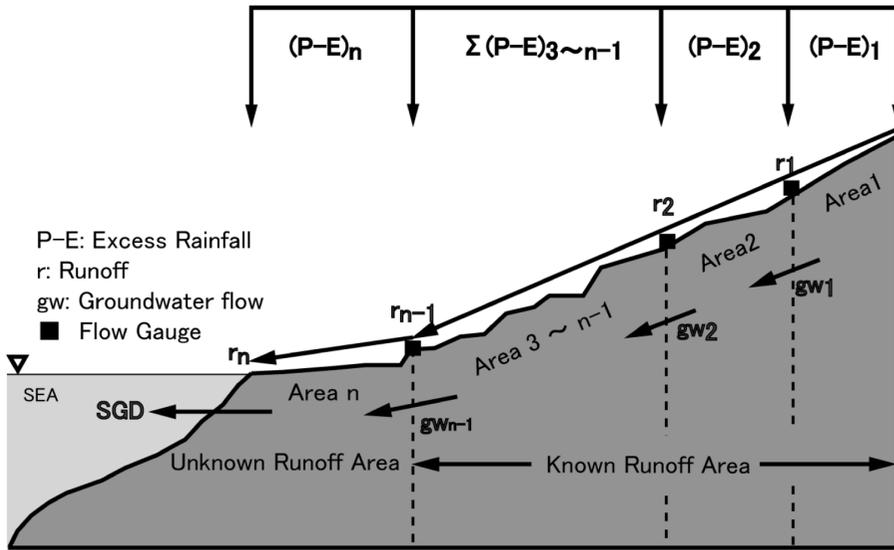
本研究では、複数の流量観測所を有する単独流域において、データ空白域である沿岸域の河川流量増分を重回帰分析で予測した (第1図)。具体的には、地質別有効雨量を独立変数として、下式のような河川流量の予測式を求めた。

$$\hat{r} = a_0 + a_1 g_1 + a_2 g_2 + \dots + a_i g_i \quad (2)$$

ここに、 \hat{r} : 流量の理論値 (m³/s)、 a_0 : 定数項、 a_n : 偏回帰係数、 g_n : 地質番号 n への地質別有効雨量 (m³/s) である。独立変数の組み合わせは、変数増減法 (水田ほか, 2005) で決定した。独立変数間に多重

1) 株式会社ニュージェック
2) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: 沿岸域, 水資源, 環境, SGD, 海底湧出地下水, 海底湧水, 多変量解析, GIS, 紀ノ川, クラスタ分析



第1図
重回帰分析による河川流出の予測の概念。

共線性が発生した場合は、従属変数(地質別有効雨量)を1つずつ除外して再計算した。得られた重回帰式の妥当性は、独立変数を変化させた感度解析^(注2)による決定係数等の相对比较で確認した。

河川流出の予測値は、下式のとおりとした。

$$\hat{R} = c \cdot \hat{r}_n \quad (3)$$

ここに、 \hat{R} ：河川流出の予測値、 c ：観測流量の補正係数 ($c \leq 1$)、 \hat{r}_n ：河口での流量の理論値である。 c は、最下流観測所の流量を上流域の有効雨量で除した値とした。観測流量が有効雨量を上回る場合、流量が過大と見なして、有効雨量と等しくなるように補正した。 \hat{r}_n は、流域全体の地質別有効雨量を式(2)に代入して求めた。

2.3 使用データ

流域界、河川流量、降水量、蒸発散量、地質に關する以下のデータを使用した。

流域界データは、財団法人日本地図センターのJMCマップ(河川流路データ)と国土交通省の国土数値情報(流域界(面)データ)から作成した。河川流量データは、国土交通省の流量年表を用いた。降水量データは、気象庁のアメダス再統計値を用いた。1つの観測点の代表範囲は、ティーセン法(Thiessen, 1911)で区分した。蒸発散量データは、ソーンスウェイト法(Thorntwaite, 1948)による可能蒸発散量に蒸発散

比0.7(山内ほか, 2000)を乗じた値を用いた。地質データは、43地質区分からなる200万分の1日本地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター; 以下産総研, 2003)を用いた(第2図)。

なお、各データの加工法等については、伊藤・丸井(2007)に詳述している。

3. 回帰予測のケーススタディ

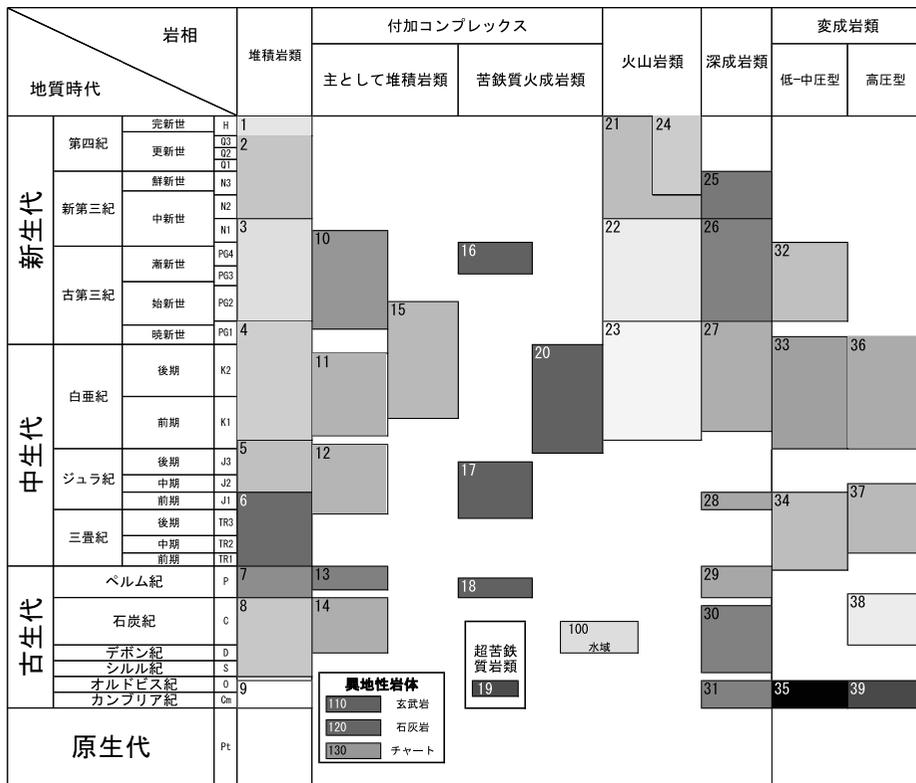
3.1 モデル流域の概要-紀ノ川の流域特性

紀ノ川は、奈良県の大台ヶ原を水源とし、中央構造線に沿って東から西に流れ、和歌山市で紀伊水道に注ぐ一級河川である。幹川流路延長は136km、流域面積は1,750km²、流域の年平均降水量は約1,700mmである(国土交通省河川局, 2005)。流域面積は、全国109の一級河川のうち38番目で、年間平均降水量は全国平均に近く、流域規模と降水量の点からは、日本の平均的な一級河川と見なせる。

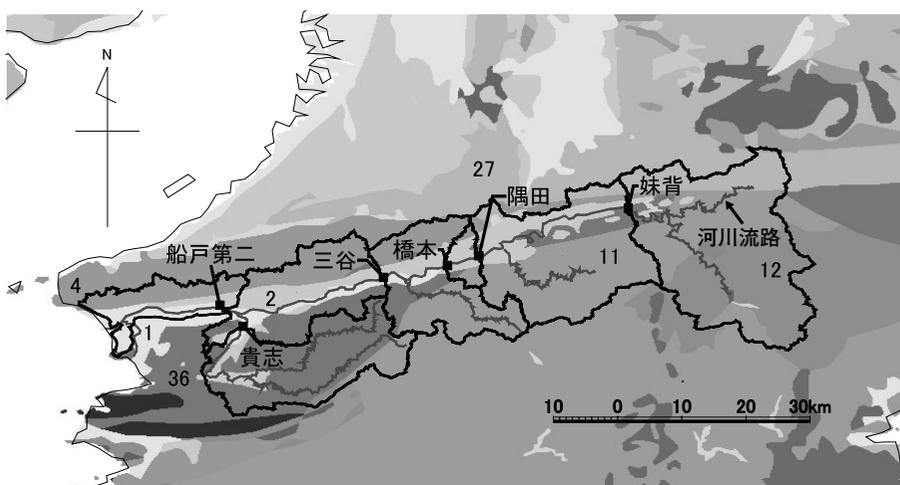
GISでの測定によると、海岸線延長は14kmであった。沿岸域のデータ空白域は、流域面積の約6.6%であり、全国109流域で24番目に小さな値であった。

流量観測所は6ヶ所で、地質は主に7種類から構成されており、回帰計算のためのデータは十分に入手可能な条件下にある(第3図)。

なお、河川流出と最下流観測所の流出高が等しいとした年間水収支法では、1993~2002年の海底地下水湧出量の平均値は49mm/yrと試算されている(伊



第2図 地質データの地質区分(産総研, 2003).



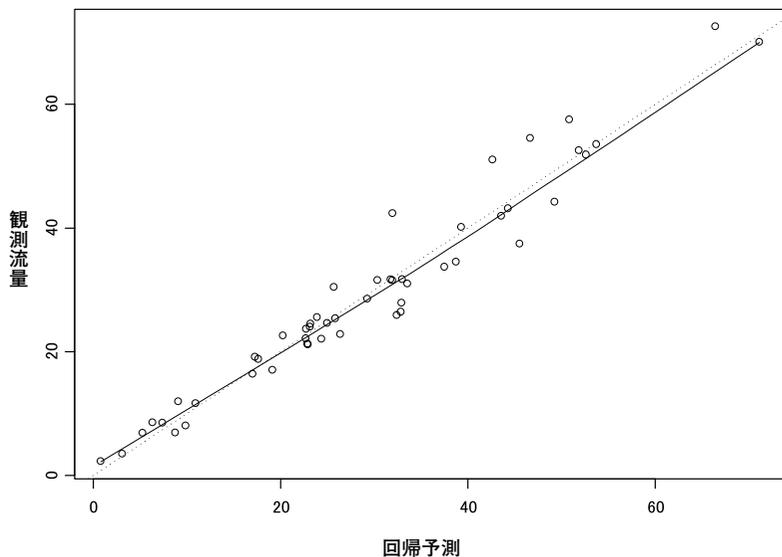
第3図 紀ノ川流域の領域分割と地質分布.

図中の■印は流量観測所を示す。各領域は、流量観測所の位置に従って分割した。図中の数字は流域内に分布する主な地質の凡例番号である。1：堆積岩類(完新世), 2：堆積岩類(新第三紀(N2)～更新世), 4：堆積岩類(白亜紀～暁新世), 11：堆積岩類付加コンプレックス(白亜紀), 12：堆積岩類付加コンプレックス(ジュラ紀), 27：深成岩類(白亜紀), 36：変成岩類(白亜紀)。

第1表 紀ノ川流域の観測流量と地質別有効雨量.

No.	年	観測所名	流量 (m ³ /s)	地質別有効雨量 (m ³ /s)						
				g11	g36	g12	g2	g4	g1	g27
1	1993	妹背	28.51	7.53	0.58	9.14	0.31	0.20	0.00	3.25
2	1993	隅田	41.91	15.67	1.84	8.39	3.19	0.61	0.00	3.61
3	1993	橋本	43.15	16.04	1.94	8.37	3.86	0.68	0.01	3.60
4	1993	三谷	53.54	20.46	3.23	8.51	4.87	2.48	0.44	3.66
5	1993	貴志	11.63	1.89	11.42	0.48	1.44	0.02	0.15	0.00
6	1993	船戸第二	70.06	23.23	15.10	9.43	8.54	5.42	1.91	3.90
7	1994	妹背	22.58	5.46	0.42	6.63	0.23	0.14	0.00	2.36
8	1994	隅田	21.14	8.81	1.04	4.72	1.79	0.34	0.00	2.03
9	1994	橋本	23.69	8.82	1.07	4.60	2.12	0.37	0.00	1.98
10	1994	三谷	25.56	9.81	1.55	4.08	2.34	1.19	0.21	1.76
11	1994	貴志	2.27	0.57	3.46	0.15	0.44	0.01	0.05	0.00
12	1994	船戸第二	30.42	9.11	5.92	3.70	3.35	2.12	0.75	1.53
13	1995	妹背	22.13	6.03	0.46	7.31	0.25	0.16	0.00	2.60
14	1995	隅田	25.88	11.96	1.41	6.40	2.43	0.47	0.00	2.76
15	1995	橋本	27.87	12.23	1.48	6.38	2.94	0.52	0.01	2.75
16	1995	三谷	34.52	15.11	2.38	6.28	3.60	1.83	0.33	2.70
17	1995	貴志	8.55	1.29	7.81	0.33	0.98	0.01	0.10	0.00
18	1995	船戸第二	44.21	16.44	10.68	6.67	6.04	3.83	1.35	2.76
19	1996	妹背	11.93	2.91	0.22	3.52	0.12	0.08	0.00	1.25
20	1996	隅田	16.38	6.85	0.81	3.67	1.39	0.27	0.00	1.58
21	1996	橋本	18.81	7.11	0.86	3.71	1.71	0.30	0.00	1.60
22	1996	三谷	21.26	9.45	1.49	3.93	2.25	1.15	0.20	1.69
23	1996	船戸第二	26.44	11.33	7.36	4.60	4.16	2.64	0.93	1.90
24	1997	妹背	25.37	6.75	0.52	8.19	0.28	0.18	0.00	2.91
25	1997	貴志	6.91	1.61	9.71	0.41	1.22	0.02	0.13	0.00
26	1997	船戸第二	52.51	17.24	11.20	7.00	6.34	4.02	1.42	2.89
27	1998	妹背	31.54	7.78	0.60	9.44	0.32	0.20	0.00	3.35
28	1998	橋本	51.02	15.48	1.88	8.08	3.72	0.66	0.01	3.48
29	1998	三谷	57.50	19.43	3.07	8.08	4.63	2.36	0.42	3.48
30	1998	貴志	8.02	1.75	10.59	0.45	1.33	0.02	0.14	0.00
31	1998	船戸第二	72.55	21.77	14.15	8.84	8.00	5.08	1.79	3.65
32	1999	妹背	22.04	6.41	0.49	7.78	0.27	0.17	0.00	2.76
33	1999	橋本	42.36	11.91	1.44	6.22	2.86	0.50	0.01	2.67
34	1999	三谷	40.13	15.31	2.42	6.37	3.65	1.86	0.33	2.74
35	1999	貴志	8.49	1.43	8.64	0.37	1.09	0.01	0.12	0.00
36	1999	船戸第二	51.85	17.48	11.36	7.10	6.42	4.08	1.44	2.93
37	2000	妹背	19.15	4.78	0.37	5.80	0.20	0.13	0.00	2.06
38	2000	隅田	22.82	9.96	1.17	5.33	2.02	0.39	0.00	2.29
39	2000	三谷	30.98	13.26	2.09	5.52	3.16	1.61	0.29	2.37
40	2000	船戸第二	37.44	15.27	9.92	6.20	5.61	3.56	1.26	2.56
41	2001	妹背	24.60	6.55	0.50	7.94	0.27	0.17	0.00	2.82
42	2001	隅田	31.66	11.74	1.38	6.29	2.39	0.46	0.00	2.70
43	2001	橋本	31.53	11.90	1.44	6.21	2.86	0.50	0.01	2.67
44	2001	三谷	33.70	14.67	2.31	6.10	3.49	1.78	0.32	2.63
45	2001	貴志	6.84	1.16	6.97	0.30	0.88	0.01	0.09	0.00
46	2001	船戸第二	54.50	15.63	10.15	6.34	5.74	3.65	1.29	2.62
47	2002	妹背	17.02	5.21	0.40	6.32	0.22	0.14	0.00	2.25
48	2002	隅田	24.01	8.88	1.04	4.75	1.81	0.35	0.00	2.05
49	2002	橋本	24.48	8.98	1.09	4.68	2.16	0.38	0.00	2.01
50	2002	貴志	3.46	0.87	5.26	0.22	0.66	0.01	0.07	0.00
51	2002	船戸第二	31.68	11.38	7.39	4.62	4.18	2.65	0.94	1.91

地質別有効雨量は流域内での面積順に並べた。



第4図
重回帰分析による紀ノ川の河川流出予測値と観測値の比較
(単位: m³/s).

藤・丸井, 2007).

3.2 モデル流域での回帰分析

重回帰分析のためのデータセットを第1表に示す。データセットは51のデータ組からなっており、それぞれのデータ組は、流域内の6ヶ所の流量観測所における年観測流量と上流域の地質別有効雨量との組合せである。

得られた重回帰式は以下のとおりであった。

$$\hat{r} = -3.576 + 1.809g_{11} + 0.8857g_{36} + 2.049g_{12} \quad (4)$$

ここに、 g_{11} は堆積岩類付加コンプレックス(白亜紀)、 g_{36} は変成岩類(白亜紀)、 g_{12} は堆積岩類付加コンプレックス(ジュラ紀)に対する地質別有効雨量である(第2図、第3図参照)。

回帰式の決定係数 R^2 は0.950であり、十分な回帰精度を示した(第4図)。各偏回帰係数のゼロ仮説に対する有意確率は全て0.001未満となり、各係数の有意性も高かった。

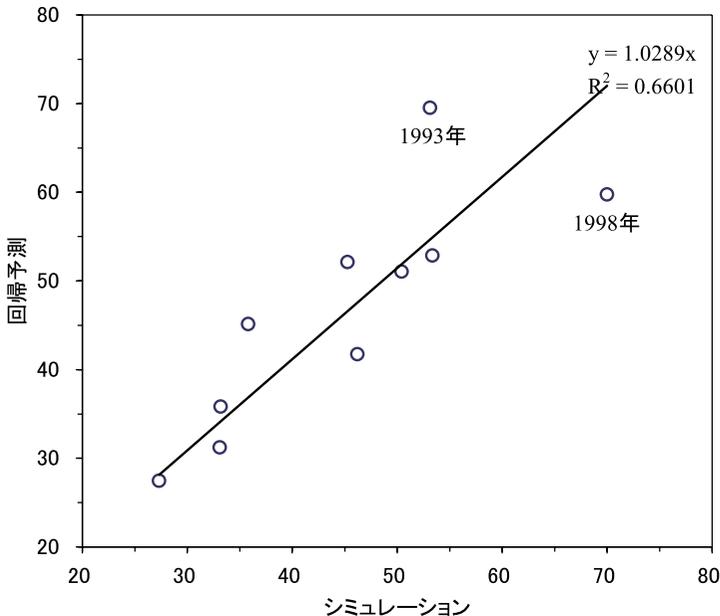
式(4)によると、独立変数として採用された3変数(g_{11} , g_{36} , g_{12})は、すべて左岸側に分布する地質への地質別有効雨量であった。宮田ほか(1993)によれば、紀ノ川流域右岸側の和泉山脈は、分水嶺が大きく南に偏っていることが報告されている。すなわち、紀ノ川流域は、右岸側河川への流入が左岸側より小

さく、右岸側の涵養は左岸側ほど河川流出に寄与していないと考えられる。式(4)はこのような流域特性を反映した形になっている。

1993年から2002年の海底地下水湧出量とその95%信頼区間を第2表に示す。10年間の平均値は124mm/yrであり、従来予測より増加したことが分かる。前述のとおり、従来予測は、河川流出と最下流観測所の流出高を等しいとする手法である。すなわち、データ空白域の流量増分は、回帰予測によって小さく評価された。従来予測では河川流出が過大評価されていたことを示している。

第2表 重回帰分析による紀ノ川流域の海底地下水湧出量評価 (mm/yr)。

年	回帰予測			(参考) 従来予測
	予測値	95%信頼区間		
1993	85	-75	245	-24
1994	180	52	308	82
1995	77	-73	227	143
1996	44	-102	189	96
1997	144	-8	296	63
1998	230	87	374	-112
1999	90	-63	243	36
2000	53	-96	201	145
2001	241	114	369	-75
2002	100	-46	246	133
平均	124	-21	270	49



第5図
紀ノ川の河川流出に関する回帰予測とシミュレーションの比較 (m³/s).

3.3 地下水流動シミュレーションによる検証

1993～2002年の河川流出を、回帰予測と地下水流動シミュレーション^(注3)で比較した(第5図)。原点を通る直線で両者を近似すると、比較的良好な相関を示し、決定係数 R^2 は0.6601となった。個別では、1993年と1998年の河川流出が大きく、近似直線からの残差も大きかった。これら2データを除くと、 R^2 は0.889に上昇した。台風や強雨の影響で流量の観測精度が低かった可能性がある。

なお、近似直線の傾きは1に近く、10年間の平均値は回帰予測とシミュレーションでほぼ同等であった。すなわち、回帰予測はシミュレーションと同等の予測精度を有することを示している。

4. 一級河川60流域での全国評価

4.1 流域毎の評価結果

流域内に2ヶ所以上の流量観測所を有する一級河川60流域について、紀ノ川と同様の方法で海底地下水湧出量を評価した。60流域で得られた重回帰式の決定係数は、単純平均が0.937、最小値が0.737、最大値が0.990であり、回帰精度は十分高かった。

海底地下水湧出量の予測値とその95%信頼区間は、第3表のとおりである。全国の一級河川60流域の海底地下水湧出量の面積加重平均は25mm/yrと

なった。これは、有効雨量の面積加重平均(1,119 mm/yr)の約2.2%に相当する量であった。

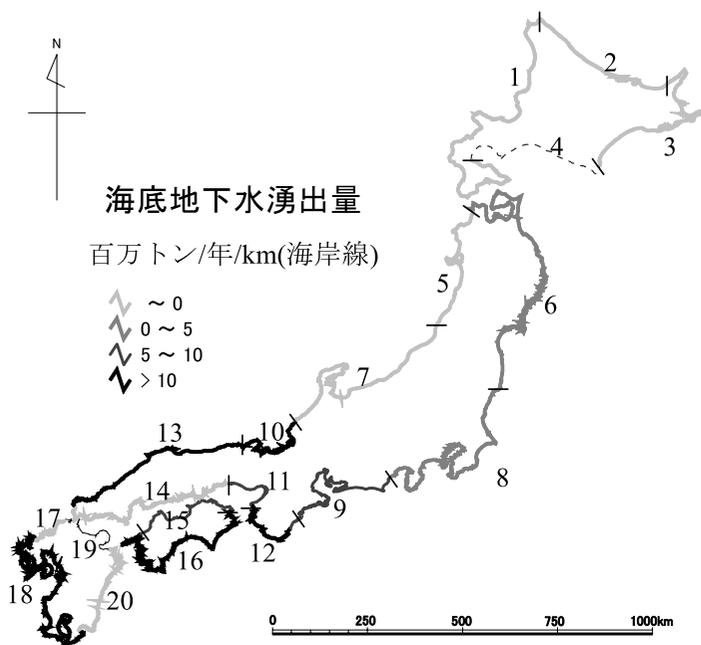
4.2 海岸線に沿った評価結果

日本の大分水界(高橋・阪口, 1976)を参考に、日本列島の海岸線を20区分し、海底地下水湧出量を計算した一級河川60流域を配分した。海岸線に沿った海底地下水湧出量分布を第6図に示す。海岸線に沿った海底地下水湧出量は、既計算の一級河川流域における海底地下水湧出量と海岸線延長を合計し、両者を除して求めた^(注4)。なお、北海道太平洋側西岸(区分4)と九州瀬戸内海側(区分19)には、既計算の一級河川流域が存在しなかったため、評価の対象外とした。

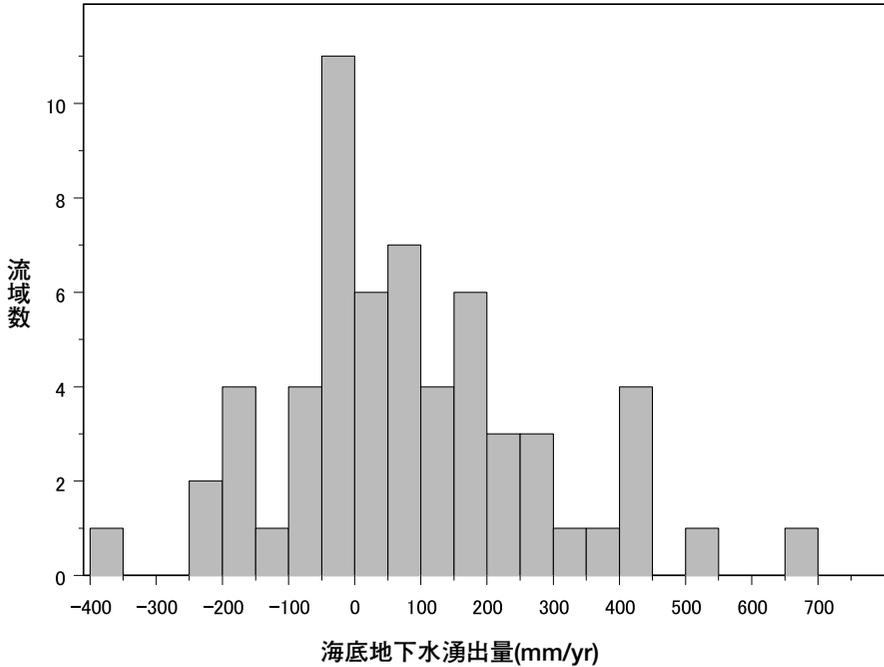
全国的に見ると、海岸線に沿った海底地下水湧出量は、東北日本で小さく、西南日本で大きくなる傾向を示した。日本の気候区分(前島, 1967)によると、関東・中部・近畿より西南は梅雨現象が明瞭な地域、東北・北陸以北は後期梅雨のみが明瞭な地域、北海道は梅雨現象が不明瞭な地域と分類される。また、守屋(1983)によれば、日本の主要な火山は、関東・北陸以北に多く、中部・近畿より西南で少なくなる。よって、現状の評価からは、海底地下水湧出量と梅雨現象および火山分布との関係が示唆される結果となった。

第3表 河川流出の重回帰分析による一級河川60流域の海底地下水湧出量評価結果 (mm/yr, 1993～2002年の10年平均)。

	予測値	95%信頼区間	
天塩川	-38	-237	161
石狩川	-6	-89	76
十勝川	-4	-70	63
釧路川	-155	-231	-80
常呂川	-22	-69	25
阿武隈川	9	-63	82
名取川	234	85	383
北上川	-17	-126	93
米代川	-166	-304	-27
雄物川	140	49	232
最上川	-137	-277	4
赤川	405	51	759
久慈川	93	-41	228
利根川	12	-71	95
荒川	282	204	360
多摩川	208	-41	458
富士川	56	-101	213
阿賀野川	-57	-212	98
信濃川	27	-233	288
神通川	-240	-593	112
小矢部川	351	184	518
狩野川	669	521	817
安倍川	506	208	805
天竜川	-27	-121	67
豊川	157	-197	511
矢作川	449	293	606
庄内川	48	-66	162
木曾川	-52	-219	115
鈴鹿川	92	-145	329
紀の川	124	-21	270
大和川	-60	-196	75
淀川	8	-68	83
加古川	57	-127	242
揖保川	153	-107	414
九頭竜川	254	-25	532
由良川	174	81	268
円山川	-35	-114	45
千代川	315	-96	726
日野川	72	-219	363
斐伊川	169	-142	481
江の川	-26	-120	68
佐波川	176	-135	487
太田川	-383	-686	-80
芦田川	145	-72	363
吉井川	130	2	258
重信川	268	84	451
脇川	-26	-180	127
渡川	-184	-774	406
仁淀川	-70	-369	230
吉野川	418	216	621
土器川	67	-123	258
遠賀川	-26	-140	88
筑後川	-20	-219	180
菊池川	187	-79	452
緑川	410	230	590
球磨川	93	-100	286
川内川	204	-13	420
肝属川	-219	-657	219
大淀川	4	-296	305
五ヶ瀬川	-190	-437	57
単純平均	83	-114	281
最小	-383	-774	-80
最大	669	521	817
中央値	57	-104	250
標準偏差	195	223	221
面積加重平均	25	-130	180



第6図
海岸線に沿った海底地下水湧出量分布図。
図中の番号は海岸線区分1～20を示す。



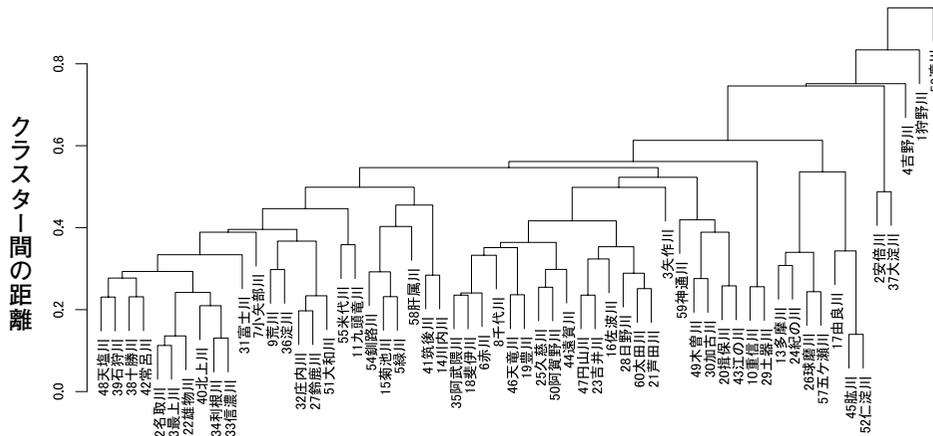
第7図 一級河川60流域の海底地下水湧出量分布。

4.3 評価精度に関する考察

60流域中23流域では、負の海底地下水湧出量を示した。負の海底地下水湧出量は、一般的には地下水が海域に流出せず塩水化が起こったり、地盤沈下が発生していることを示す。しかし、重回帰分析の精度が流域によって異なることも原因の一つと考えられる。

予測値のヒストグラム(第7図)を作成すると、全国

の海底地下水湧出量は-50~0mm/yrを峰として、やや右に歪んだ分布を示した。上位5河川は、狩野川、安倍川、矢作川、吉野川、緑川であり、下位5河川は、太田川、神通川、肝属川、五ヶ瀬川、四万十川(渡川)であった。流域の地質構成比によるクラスター分析(第8図)によれば、これらの流域はクラスター化が困難な流域と評価された。特徴的な地質分布を示す流域は、海底地下水湧出量の絶対値が大きくなる



第8図 一級河川60流域の地質構成比によるクラスター分析。流域名には、海底地下水湧出量(予測値)の60流域中順位を付した。

ことを示している。重回帰分析の精度向上の観点からは、このような流域で流量観測を優先的に拡充することが期待される。

5. おわりに

本研究は、日本列島の海底地下水湧出量分布評価を目的とし、一級河川60流域の湧出量を年間水収支法で評価した。最下流観測所から河口までの流量増分は、観測流量と地質別有効雨量との重回帰分析から予測した。

紀ノ川をモデル流域としたケーススタディの結果、回帰予測はデータ空白域の流量増分を従来予測より小さく評価した。また、回帰予測は地下水流動シミュレーションと同等の予測精度を有することを示した。

全国の一級河川60流域の海底地下水湧出量は、面積加重平均が25mm/yrと評価された。これは、有効雨量の面積加重平均(1,119mm/yr)の約2.2%に相当する量であった。海岸線に沿った海底地下水湧出量は、東北日本で小さく、西南日本で大きくなる傾向を示した。現状での評価からは、海底地下水湧出量と梅雨現象および火山分布との関係が示唆された。

今後、一級河川60流域以外の未評価流域での海底地下水湧出量評価を進め、日本列島の海底地下水湧出量分布図を作成する。そのためには、流量観測が不十分な領域でも、本研究と同様の湧出量評価を行う必要がある。地質構成が類似した複数流域を組み合わせ、河川流出と地質別有効雨量の重回帰分析から見かけの流出を評価する予定である。

注1 年間での有効雨量は、深部浸透と年間貯留雨量変化を無視できると仮定している。

注2 感度解析では、初期条件で採用された独立変数を、面積が小さい順に1つずつデータセットから除外し、重回帰式を再計算した。

注3 河川流路、地質分布、流量観測所による領域区分および涵養条件(有効雨量)を、回帰予測と同様に設定し、単一層モデルによる飽和定常解析(有限差分法)を行った。境界条件は、流域界を非流動境界とし、海水位と河川水位を地表から-1mで固定した。各地質区分の透水係数は、解が収束するように試行錯誤的なキャリブレーションで設定した。

間隙率は0.3とした。河川流出は、流量観測所で区分した領域毎に河川への流入と流出を計算し、それらを累計して求めた。

注4 例えば、北海道日本海側(第6図の区分1)には、海底地下水湧出量を評価した一級河川60流域のうち天塩川と石狩川の河口が含まれる。海岸線に沿った海底地下水湧出量は、両河川の海底地下水湧出量と海岸線延長の合計を除いて求めた。よって、現状の評価結果には、海底地下水湧出量の未計算流域が考慮されていないことに注意が必要である。

文 献

- Church, T. M. (1996) : An underground route for the water cycle. *Nature*, 380, 579-580.
- 土木学会 (1999) : 水理公式集 平成11年版.
- 伊藤成輝・丸井敦尚 (2007) : 全国一級河川の海底地下水湧出量評価における問題点. *地質ニュース*, 640, 51-57.
- 国土交通省河川局 (2005) : 紀の川水系河川整備基本方針
- 前島郁雄 (1967) : 地理学図説. 市川・西水・福宿・前島・山名(編), 古今書院.
- 宮田隆夫・牧本 博・寒川 旭・市川浩一郎 (1993) : 和歌山及び尾崎地域の地質. *地域地質研究報告* (5万分の1地質図幅), 地質調査所.
- 水田正弘・山本義郎・南 弘征・田澤 司 (2005) : S-PLUSによるデータマイニング入門. 森北出版.
- 守屋以智雄 (1983) : 日本の火山地形. 東京大学出版会.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2003) : 200万分の1日本地質図第5版CD-ROM版. 数値地質図G-10.
- 手計太一・吉谷純一 (2006) : 社会変動を考慮した河川流量予測モデルの構築. *水文・水資源学会誌*, 19, 3, 171-182.
- Slomp, C. P. and Van Cappellen, P. (2004) : Nutrient inputs to the coastal ocean through submarine groundwater discharge: controls and potential impact. *Journal of Hydrology*, 295, 1-4, 64-86.
- 高橋 裕・阪口 豊 (1976) : 日本の川. *科学*, 46, 488-499.
- Thiessen, A. H. (1911) : Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, 39, 1082-1084.
- Thornthwaite, C. W. (1948) : An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- Touazi, M., Laborde, J. P. and Bhiry, N. (2004) : Modelling rainfall-discharge at a mean inter-yearly scale in northern Algeria. *Journal of Hydrology*, 296, 1-4, 179-191.
- 山内大祐・宮原智哉・竹内真司・小田川信哉 (2000) : 超深地層研究所計画用地周辺の水収支観測結果. *サイクル機構技報*, 9, 12, 103-114.
- Zektser, I. S. and Dzhamalov, R. G. (2006) : *Submarine Groundwater*. Taylor & Francis, London.

ITO Narimitsu and MARUI Atsunao (2008) : Calculation of submarine groundwater discharge by multiple linear regression analysis of river runoff in 60 class A river basins of Japan

<受付: 2007年9月12日>