

2) 泗水・西合志地区における地下水中の硝酸性窒素と

他の無機成分との関係

永田 武史* 小林 亜由美 渡邊 和博 木庭 亮一

要 旨

菊池地域の菊池市泗水地区及び合志市西合志地区で井戸水の調査を実施し、硝酸性窒素と他の無機成分との関連を調査した。泗水西部及び西合志西部では井戸水中の硝酸性窒素濃度と硫酸イオン濃度及び臭化物イオン／塩化物イオン比に相関関係が見られた。一方、泗水東部では硝酸性窒素濃度と塩化物イオン濃度に相関関係が見られた。これらの結果より、地区によって硝酸性窒素の由来が異なることが示唆された。

キーワード：地下水，硝酸性窒素，相関係数，臭化物イオン

はじめに

菊池地域を含む熊本市周辺では、生活用水のほぼ100%を地下水に依存しているが、過剰な施肥や家畜排泄物等の不適切な処理等が原因と推測される、地下水の硝酸性窒素濃度の上昇がみられ、環境基準を超過する事例も見られる^{1),2)}。硝酸性窒素による地下水の汚染の状況を把握するには、湧水や井戸水などの地下水を調査し、地下水中の硝酸性窒素濃度の分布を把握することが不可欠である。

熊本県では平成7年以降、地下水における硝酸性窒素濃度の調査を実施するとともに^{3)~8)}、平成16年度に熊本地域硝酸性窒素削減計画を策定し汚染の拡大を防止する対策に取り組んできた。

硝酸性窒素による地下水汚染の実態を把握し、その原因を追究することは地域の地下水環境を保全し、地域住民の健康を保護するうえで非常に重要である。

筆者らはこれまで、菊池地域の湧水及び地下水の調査を実施し、硝酸性窒素、他の無機成分及び井戸深さとの関係について検討を行ってきた。その結果、菊池市旭志地区では、硝酸性窒素の汚染が第一帯水層にとどまり、深さ50mを超えるような深井戸では第二帯水層の地下水によって硝酸性窒素が希釈されている可能性を示唆した⁹⁾。

今回、平成27年度は、地下水概況調査と連携する形

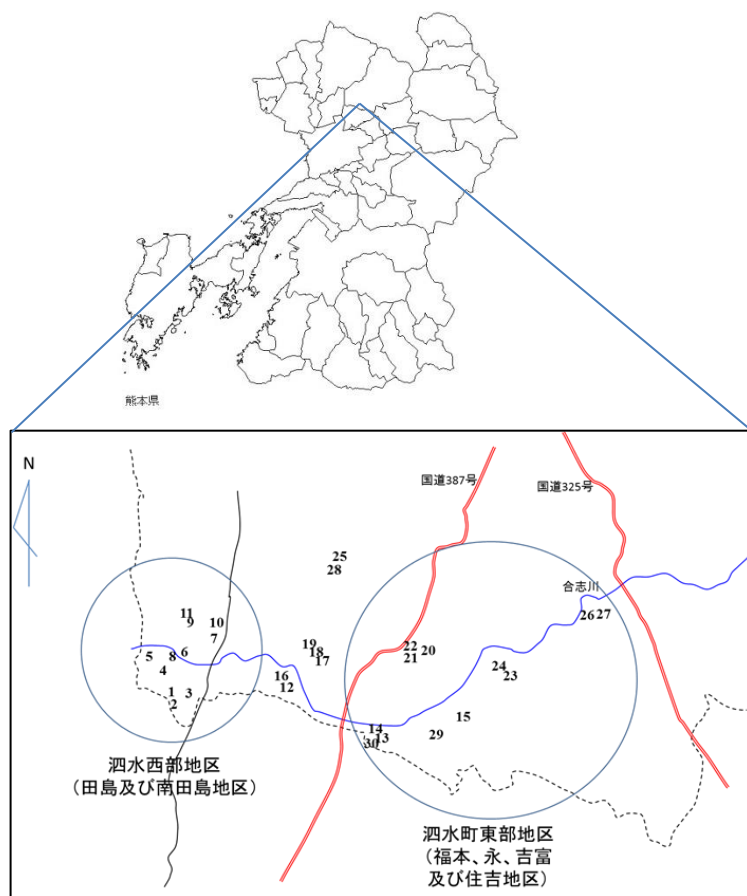


図1 泗水地区調査地点

*現環境生活部環境局循環社会推進課

で、菊池市泗水地区（旧泗水町）及び合志市西合志地区（旧西合志町）での調査を実施し、硝酸性窒素と他の無機成分との関連を調べたので報告する。

調査地点

1 泗水地区

図1に調査地点を示す。また、表1に地点の概要を示す。地点数は30地点であり、全て井戸水であった。平成28年1月18日、1月21日に採水された。

表1 泗水地区調査地点概要

No.	井戸深さ [m]	ストレーナー位置 [m]	海拔 [m] (地理院地図から推定)
1	30	15	45
2	30	18	49
3	不明	不明	60
4	45	43	46
5	40	16	39
6	100	不明	39
7	15	10	45
8	6	不明	39
9	不明	不明	43
10	50	30	56
11	不明	不明	44
12	20	4	45
13	60	不明	51
14	50	4	50
15	40	不明	64
16	4	4	44
17	40	8	48
18	50	12	49
19	不明	不明	50
20	30	不明	75
21	不明	不明	77
22	不明	不明	67
23	8	不明	67
24	12	10	65
25	47	25	62
26	不明	不明	74
27	13	11	77
28	5	4	52
29	60	38	61
30	50	不明	59

※ 調査地点は全て井戸水

2 西合志地区調査

図2に調査地点の概略図を示す。また、表2に地点の概要を示す。地点数は30でありすべて井戸水であった、平成28年1月28日、2月1日及び2月4日に採水された。

調査項目及び分析方法

調査項目は、pH、EC（導電率）、陽イオン（Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）、陰イオン（F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、

NO₃⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、PO₄³⁻）、重金属類（21種類）であった。

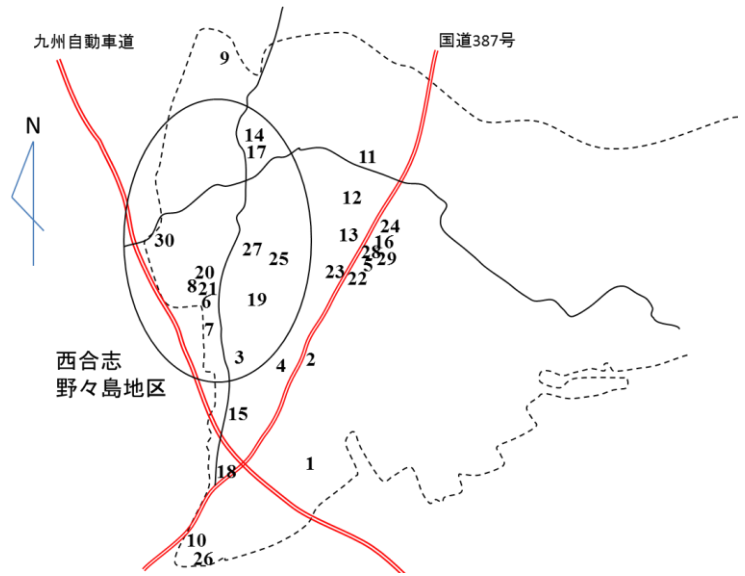


図2 西合志地区調査地点

表2 西合志地区調査地点概要

No.	井戸深さ [m]	ストレーナー位置 [m]	海拔 [m] (地理院地図から推定)
1	68	44-45, 49-50	45
2	97	67-68	49
3	80	50-51	60
4	120	不明	46
5	60	不明	39
6	75	65-70	39
7	75	65-70	45
8	100	65-70	39
9	50	7-17	43
10	27	20-27	56
11	100	64-90	44
12	100	15-32, 43-72, 84-93	45
13	23	10-20	51
14	80	50-65	50
15	100	50-100	64
16	100	50-100	44
17	70	26-34	48
18	100	不明	49
19	68.5	不明	50
20	80	不明	75
21	86	不明	77
22	84	不明	67
23	80	45-67	67
24	90	65-90	65
25	100	80-95	62
26	72	24	74
27	100	88-96	77
28	80	不明	52
29	80	不明	61
30	80	不明	59

※ 調査地点は全て井戸水

pH, EC, ORP は電極法, HCO_3^- , PO_4^{3-} を除くイオン成分はイオンクロマトグラフ法, HCO_3^- は硫酸滴定法, PO_4^{3-} はモリブデン青法により求めた。重金属成分については, 誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) 法で分析を行った。

表 3 各成分の平均値, 最大値及び最小値 (泗水地区)

調査日	H28.1.18, H28.1.21		
	平均値	最大値	最小値
水温 (°C)	18.3	21.5	16.0
pH	6.9	7.8	6.0
EC (μ S/cm)	251	394	155
Na ⁺ (mg/L)	13.9	52.4	7.5
NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
K ⁺ (mg/L)	7.2	25.3	2.1
Ca ²⁺ (mg/L)	18.2	36.2	7.6
Mg ²⁺ (mg/L)	6.4	14.0	1.6
F ⁻ (mg/L)	0.06	0.41	0.01
Cl ⁻ (mg/L)	11.3	37.3	4.4
NO ₂ ⁻ (mg/L)	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Br ⁻ (mg/L)	0.045	0.092	0.013
NO ₃ ⁻ (mg/L)	27.4	66.1	5.5
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	17.8	56.9	1.7
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	76.4	137.2	30.8
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0.051	0.161	0.004
NO ₃ -N (mg/L)	6.2	14.9	1.2
Li (μ g/L)	3.4	40.2	0.1
B (μ g/L)	34.6	267.6	4.3
Al (μ g/L)	10.0	65.1	0.5
V (μ g/L)	3.5	21.8	0.5
Cr (μ g/L)	0.16	0.60	0.00
Mn (μ g/L)	4.38	92.17	0.00
Fe (μ g/L)	20.2	242.1	0.0
Ni (μ g/L)	0.14	0.57	0.01
Cu (μ g/L)	5.01	15.07	0.15
Zn (μ g/L)	4.78	32.49	1.03
As (μ g/L)	7.64	186.4	0.00
Se (μ g/L)	0.18	0.64	0.00
Rb (μ g/L)	13.4	34.4	4.4
Sr (μ g/L)	210.2	425.3	94.5
Mo (μ g/L)	0.15	0.41	0.01
Cd (μ g/L)	0.00	0.01	0.00
Sb (μ g/L)	0.04	0.09	0.01
Cs (μ g/L)	0.05	0.25	0.00
Ba (μ g/L)	16.6	53.0	2.2
Pb (μ g/L)	0.33	1.32	0.01
U (μ g/L)	0.34	1.45	0.00

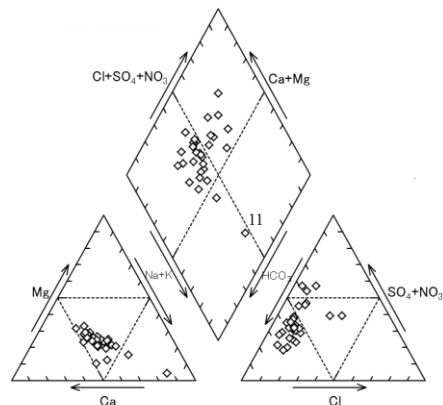


図 3 トリリニアダイアグラム (泗水地区)

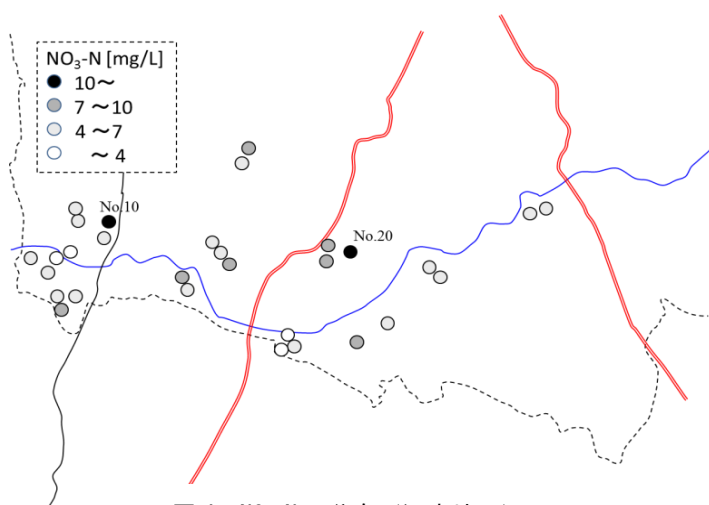


図 4 NO₃-N の分布 (泗水地区)

結果及び考察

1 泗水地区調査

1.1 水質の概要 (トリリニアダイアグラム)

各成分の分析結果の平均値, 最大値, 最小値を表 3 に示す。また, トリリニアダイアグラムを図 3 に示す。トリリニアダイアグラムが示すように, 大部分の地点は通常の地下水が多く分類されるアルカリ土類炭酸塩型あるいはアルカリ土類非炭酸塩型を示した。しかし, 地点 No.11 はアルカリ炭酸塩型を示した。このことから No.11 は, 地下における滞留時間が比較的長い深層地下水が含まれている可能性が示唆された。

1.2 硝酸性窒素の分布について

硝酸性窒素 (NO₃-N) の濃度の分布を図 4 に示す。

NO₃-N が環境基準 (10mg/L) より高かったのは 2 地点 (No. 10, No. 20) であり, 7~10mg/L の範囲にあったのが 7 地点 (No. 2, No. 16, No. 17, No. 21, No. 22, No. 25, No. 29) であった。

表 4 各成分間の相関係数（泗水地区，斜字は 0.8 以上）

	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Li	B	V	As	Se	Sr	PO ₄ ³⁻	NO ₃ -N
Na ⁺	0.022	-0.093	-0.091	0.893	0.319	0.423	0.269	0.394	0.956	0.722	0.115	0.922	0.137	-0.093	0.636	-0.056
K ⁺		0.013	0.062	-0.050	0.020	0.083	0.189	0.216	-0.099	-0.019	0.374	-0.124	0.099	0.510	0.101	-0.050
Ca ²⁺			0.943	-0.303	0.404	0.519	0.236	0.611	-0.212	0.056	-0.220	-0.294	0.231	0.705	-0.241	0.611
Mg ²⁺				-0.307	0.381	0.595	0.260	0.612	-0.194	0.040	-0.174	-0.287	0.289	0.677	-0.220	0.596
F ⁻					0.182	0.158	0.086	0.276	0.953	0.664	0.156	0.880	-0.001	-0.318	0.712	-0.285
Cl ⁻						0.322	0.398	0.150	0.214	0.060	0.004	0.171	-0.105	0.374	0.004	-0.082
Br ⁻							0.554	0.415	0.315	0.520	0.019	0.245	0.580	0.441	0.060	0.387
SO ₄ ²⁻								-0.130	0.134	0.572	-0.071	0.124	0.388	0.439	-0.060	-0.011
HCO ₃ ⁻									0.335	0.247	0.157	0.189	0.210	0.328	0.389	0.326
Li										0.700	0.125	0.955	0.076	-0.259	0.680	-0.125
B											-0.024	0.653	0.449	0.068	0.438	0.059
V												0.083	0.180	-0.221	0.440	-0.494
As													0.062	-0.284	0.588	-0.061
Se														0.163	0.049	0.186
Sr															-0.388	0.476
PO ₄ ³⁻																-0.324

表 5 NO₃-N 検出井戸周辺における NO₃-N と各成分の相関係数（泗水地区）

	No. 10周辺 11地点	No. 20周辺 12地点
Na ⁺	-0.029	0.424
K ⁺	-0.298	0.176
Ca ²⁺	0.503	0.709
Mg ²⁺	0.404	0.771
F ⁻	-0.286	-0.522
Cl ⁻	-0.433	0.059
Br ⁻	0.476	0.719
SO ₄ ²⁻	0.653	-0.356
HCO ₃ ⁻	-0.130	0.659
Li	-0.148	0.483
B	0.322	-0.247
V	-0.651	-0.450
As	-0.008	-0.363
Se	0.313	0.397
Sr	0.660	0.528
PO ₄ ³⁻	-0.487	-0.354
Br ⁻ /Cl ⁻	0.765	0.282

1.3 各成分の相関について

今回分析を実施した，主な成分の相関係数を表 4 に示す。本調査では Na⁺，F⁻，Li，As 間の相関係数が 0.8 の高い傾向を示した。また，これらの成分は B，PO₄²⁻とも 0.6~0.8 程度の相関係数を示した。既報のとおり⁹⁾，旭志地区の調査の結果からこれら Na⁺，F⁻，Li，As の成分は深い帯水層に比較的豊富に含まれる傾向があり，泗水地区でも同様の傾向が見られると考えられる。また，Ca²⁺，Mg²⁺，Sr の間でも比較的高い相関がみられた。これらはいずれもアルカリ土類金属であり，吸着・溶出等同じような挙動をとっているものと考えられる。

1.4 高濃度 NO₃-N 検出地点周辺における各成分濃度の関係について

環境基準（10mg/L）を超える NO₃-N を検出した井戸（No. 10，No. 20）の周辺の井戸について，他の無機成分との関係を調査した。

No. 10 に関して，泗水町田島地区及び南田島地区の（No. 10 を含む）11 地点（No. 1~11）での NO₃-N と主な成分との相関を表 5 左欄に示す。相関が高い SO₄²⁻との関係をプロットしたものを図 5 に，NO₃-N と Br⁻/Cl⁻の比との関係をプロットしたものを図 6 に示す。

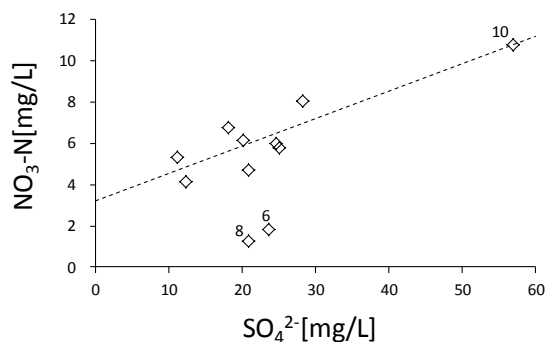


図 5 泗水地区 No. 10 周辺 11 地点における NO₃-N と SO₄²⁻との関係

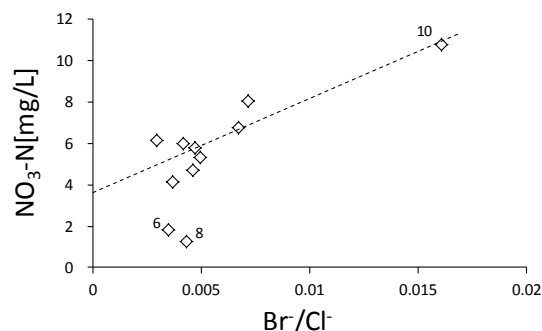


図 6 泗水地区 No. 10 周辺 11 地点における NO₃-N と Br⁻/Cl⁻比との関係

11 地点の $\text{NO}_3\text{-N}$ と SO_4^{2-} との相関係数は 0.653 であったが、合志川近傍に位置する No. 6 及び No. 8 を除外した 9 地点では 0.902 だった。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と Br^-/Cl^- との相関係数は 11 地点では 0.765 であり、 SO_4^{2-} 場合と同様に No. 6 及び No. 8 を除外した 9 地点では 0.906 だった。 SO_4^{2-} は化学肥料と関連が深く、 Br^- は海水中では Cl^- に対して重量比で 0.003 程度含まれているが、畑作農地においては臭素を含む農薬の使用によって Cl^- に対する重量比が増加する事例が報告されている^{10)~12)}。No. 6 及び No. 8 が相関から外れる理由は不明だが、No. 6 については井戸が深く (100m)、深層地下水の影響を受けている (実際に F, As などの濃度が他の井戸と比較して高い。) 可能性があること、また、両地点とも河川水の影響を受けている可能性が考えられる。

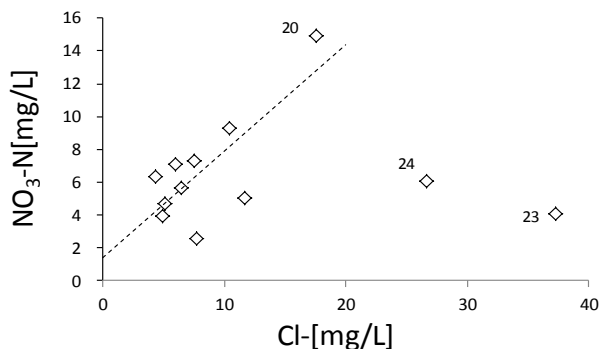


図 7 泗水地区 No. 20 周辺 12 地点における $\text{NO}_3\text{-N}$ と Cl^- との関係

No. 20 に関して、泗水町東部の福本、永、吉富及び住吉地区の (No. 20 を含む) 12 地点 (No. 13~15, No. 20~24, No. 26, No. 27, No. 29, No. 30) での $\text{NO}_3\text{-N}$ と主な無機成分との相関を表 5 右欄に示す。 $\text{NO}_3\text{-N}$ と Cl^- との関係を図 7 に示す。12 地点では $\text{NO}_3\text{-N}$ と Cl^- との相関係数は 0.059 であったが、永地区の No. 23, No. 24 を除外した 10 地点での相関係数は 0.762 であった。また、 Br^- については 12 地点で相関係数 0.719 であったが $\text{NO}_3\text{-N}$ と Br^-/Cl^- との相関係数は 0.282 と低く、No. 10 とは異なる傾向が見られた。 Cl^- は家畜ふん尿等に含まれるため、この地区での $\text{NO}_3\text{-N}$ は家畜ふん尿と関連があると考えられた。

2 西合志地区調査

2.1 水質の概要 (トリリニアダイアグラム)

各成分の分析結果の平均値、最大値、最小値を表 6 に示す。また、トリリニアダイアグラムを図 8 に示す。トリリニアダイアグラムが示すように、井戸水の大部

分はアルカリ土類炭酸塩型あるいはアルカリ土類非炭酸塩型を示した。しかし No. 18 については陽イオンにおけるアルカリ類の比率が高く、アルカリ土類を上回った。この地点では、泗水地域の No. 11 と同様に滞留時間が比較的長い深層地下水が含まれている可能性が示唆された。

表 6 各成分の平均値、最大値及び最小値 (西合志地区)

調査日	H28.1.28, H28.2.1, H28.2.4		
	平均値	最大値	最小値
水温 (°C)	18.6	22.0	10.5
pH	7.3	7.8	6.9
EC ($\mu\text{S/cm}$)	234	328	136
Na^+ (mg/L)	12.9	33.6	8.0
NH_4^+ (mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
K^+ (mg/L)	5.3	7.4	3.6
Ca^{2+} (mg/L)	18.5	31.8	9.8
Mg^{2+} (mg/L)	6.8	12.8	3.4
F^- (mg/L)	0.07	0.50	0.02
Cl^- (mg/L)	10.2	33.0	4.8
NO_2^- (mg/L)	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Br^- (mg/L)	0.082	0.243	0.004
NO_3^- (mg/L)	21.0	54.2	7.2
SO_4^{2-} (mg/L)	9.1	22.3	0.4
HCO_3^- (mg/L)	89.0	119.1	53.5
PO_4^{3-} (mg/L)	0.050	0.109	0.028
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	4.7	12.2	1.6
Li ($\mu\text{g/L}$)	3.8	40.2	0.5
B ($\mu\text{g/L}$)	48.5	266.2	5.0
Al ($\mu\text{g/L}$)	16.2	172.8	0.7
V ($\mu\text{g/L}$)	3.1	6.0	1.7
Cr ($\mu\text{g/L}$)	0.31	0.57	0.10
Mn ($\mu\text{g/L}$)	2.60	37.17	0.02
Fe ($\mu\text{g/L}$)	54.8	519.8	1.3
Ni ($\mu\text{g/L}$)	0.12	1.10	0.00
Cu ($\mu\text{g/L}$)	1.08	8.99	0.02
Zn ($\mu\text{g/L}$)	14.26	77.82	0.00
As ($\mu\text{g/L}$)	0.64	1.65	0.26
Se ($\mu\text{g/L}$)	0.25	0.99	0.03
Rb ($\mu\text{g/L}$)	13.2	18.2	8.9
Sr ($\mu\text{g/L}$)	182.3	285.1	89.9
Mo ($\mu\text{g/L}$)	0.18	0.53	0.08
Cd ($\mu\text{g/L}$)	0.01	0.08	0.00
Sb ($\mu\text{g/L}$)	0.04	0.07	0.03
Cs ($\mu\text{g/L}$)	0.29	4.15	0.01
Ba ($\mu\text{g/L}$)	11.9	29.1	3.9
Pb ($\mu\text{g/L}$)	0.19	1.26	0.00
U ($\mu\text{g/L}$)	0.74	1.99	0.07

表 7 各成分間の相関係数（西合志地区，斜字は 0.8 以上）

	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Li	B	V	As	Se	Sr	PO ₄ ³⁻	NO ₃ -N
Na ⁺	0.216	-0.016	-0.053	0.700	0.716	0.226	0.053	0.364	0.871	0.907	0.351	0.472	0.049	-0.053	0.433	-0.002
K ⁺		0.519	0.369	-0.058	0.171	0.201	0.802	0.209	0.056	0.064	-0.266	-0.144	0.336	0.549	-0.201	0.390
Ca ²⁺			0.870	-0.358	0.359	0.396	0.549	0.497	-0.056	-0.141	-0.517	-0.423	0.404	0.925	-0.583	0.711
Mg ²⁺				-0.348	0.328	0.323	0.482	0.526	-0.139	-0.135	-0.593	-0.531	0.562	0.887	-0.573	0.582
F ⁻					0.343	0.022	-0.171	0.018	0.616	0.697	0.622	0.689	-0.054	-0.391	0.658	-0.155
Cl ⁻						0.431	0.099	0.327	0.770	0.551	-0.002	0.075	0.266	0.317	-0.061	0.244
Br ⁻							0.383	-0.124	0.277	0.090	-0.095	0.110	0.568	0.431	-0.086	0.597
SO ₄ ²⁻								-0.037	-0.061	-0.115	-0.277	-0.106	0.500	0.620	-0.217	0.578
HCO ₃ ⁻									0.189	0.348	-0.159	-0.241	-0.104	0.361	-0.154	-0.099
Li										0.675	0.271	0.403	0.009	-0.055	0.201	-0.009
B											0.417	0.543	-0.067	-0.206	0.578	-0.090
V												0.825	-0.309	-0.657	0.821	-0.375
As													-0.082	-0.557	0.793	-0.112
Se														0.536	-0.225	0.604
Sr															-0.690	0.760
PO ₄ ³⁻																-0.341

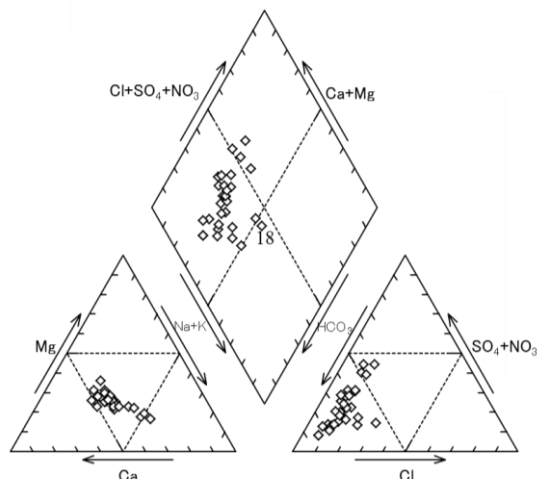


図 8 トリリニアダイアグラム（西合志地区）

表 8 西合志野々島地区における NO₃-N と各成分の相関係数

	野々島地区 12地点
Na ⁺	0.243
K ⁺	0.517
Ca ²⁺	0.722
Mg ²⁺	0.497
F ⁻	-0.396
Cl ⁻	0.203
Br ⁻	0.937
SO ₄ ²⁻	0.628
HCO ₃ ⁻	-0.020
Li	0.068
B	-0.267
V	-0.386
As	-0.125
Se	0.597
Sr	0.836
PO ₄ ³⁻	-0.596
Br ⁻ /Cl ⁻	0.874

2.2 NO₃-Nの分布について

今回の調査で得られた NO₃-N 濃度の分布を図 9 に示す。西合志地区では 30 地点中 2 地点（No. 6, No. 17）で環境基準の 10mg/L を超過し，3 地点（No. 8, No. 14, No. 30）で 7~10mg/L の範囲であった。環境基準を超過した 2 地点はいずれも西合志町東部の野々島地区だった。

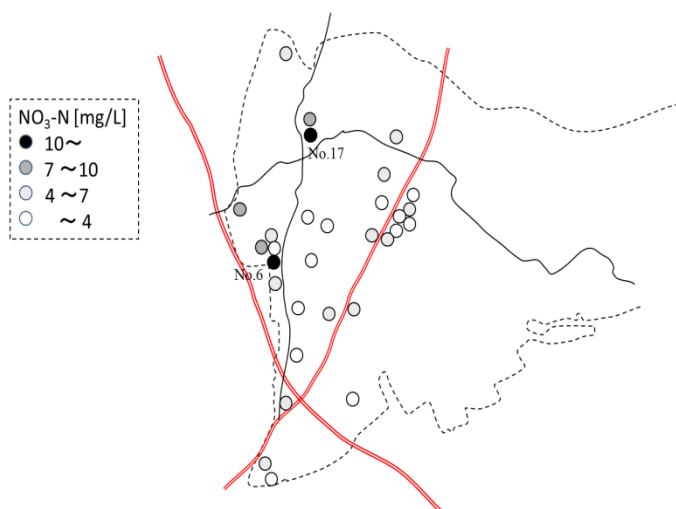


図 9 NO₃-N の分布（西合志地区）

2.3 各成分の相関について

今回分析を実施した，主な成分の相関係数を表 7 に示す。西合志地区でも，泗水地区と同様に深い帯水層に比較的含まれる Na⁺, Li, B の間及び As, V, PO₄³⁻ 間の相関係数が 0.8 以上の高い傾向を示した。これらの成分は F⁻ との間の相関係数が 0.6 程度を示した。また，泗水地区と同様に Ca²⁺, Mg²⁺, Sr の間でも高い相関がみられた。

2.4 高濃度 NO₃-N 検出地点周辺における，各成分濃度の関係について

環境基準を超過する濃度の NO₃-N が検出された野々島地区周辺 12 地点（No. 3, No. 6~8, No. 14, No. 17, No. 19~21, No. 25, No. 27, No. 30）での NO₃-N と主な無機成分との相関を表 8 に示す。

野々島地区では，泗水町田島・南田島地区と同様に，NO₃-N と Br⁻/Cl⁻ の比との関係をプロットしたもの

を図 10 に示す。NO₃-N と Br⁻との相関係数は 0.937、NO₃-N と Br⁻/Cl⁻比との相関係数は 0.874 だった。また、NO₃-N と SO₄²⁻との相関係数は 0.628 であり、ある程度の相関が認められた。泗水町田島・南田島地区と同様に NO₃-N と化学肥料及び農薬との関連が示唆された。

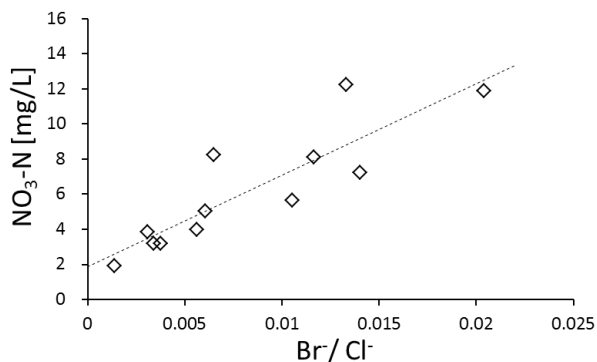


図 10 西合志野々島地区における NO₃-N と Br⁻/Cl⁻比との関係

ま と め

本報では平成 27 年度に実施した泗水地区調査、西合志地区調査について報告した。

泗水地区調査の結果、NO₃-N が環境基準を超過したのは 2 地点だった。泗水西部では NO₃-N と Br⁻/Cl⁻比、SO₄²⁻との間に比較的高い相関係数が見られた。一方、泗水東部では NO₃-N と Cl⁻との間に一定の相関が見られた。これらの結果は、地域によって地下水 NO₃-N の由来が異なることを示唆している。

西合志地区調査の結果、西合志西部の野々島地区に環境基準を超過する濃度の NO₃-N が検出され、泗水西部の場合と同様に、NO₃-N と Br⁻/Cl⁻比、SO₄²⁻との間に相関が見られた。

謝辞

本報における、旭志地区調査及び合志地区調査につきましては、熊本県環境保全課の地下水概況調査事業に付随して行われ、熊本県環境保全課、熊本県菊池保健所、菊池市及び合志市によって調査地点の検討及び採水が実施されました。各所属の担当者の方々に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 熊本県：熊本地域硝酸性窒素削減計画，(2005).
- 2) 熊本県：平成 25 年度水質調査報告書（公共用水域及び地下水），(2014).

- 3) 小笹康人，廣畑昌章，吉永敏之，福留清秀，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報，25,35 (1995).
- 4) 廣畑昌章，松崎達哉，藤田一城，小笹康人，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報，26,59 (1996).
- 5) 廣畑昌章，松崎達哉，藤田一城，松下 裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報，27,71 (1997).
- 6) 廣畑昌章，松崎達哉，藤田一城，松下 裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報，27,77 (1997).
- 7) 廣畑昌章，藤田一城，永村哲也，松下 裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報，28,60 (1998).
- 8) 廣畑昌章，藤田一城，永村哲也，松下 裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報，28,66 (1998).
- 9) 永田武史，前田敏孝，藤本貴大，小笹康人，上本清次：熊本県保健環境科学研究所報，44, 75 (2014).
- 10) 寺尾宏，梶川正勝，森下有輝，加藤喜久雄：地球化学，18, 21 (1984).
- 11) 寺尾宏，梶川正勝，森下有輝，加藤喜久雄：地球化学，19, 31 (1985).
- 12) 小笹康人：熊本県保健環境科学研究所報，31, 66 (2001).

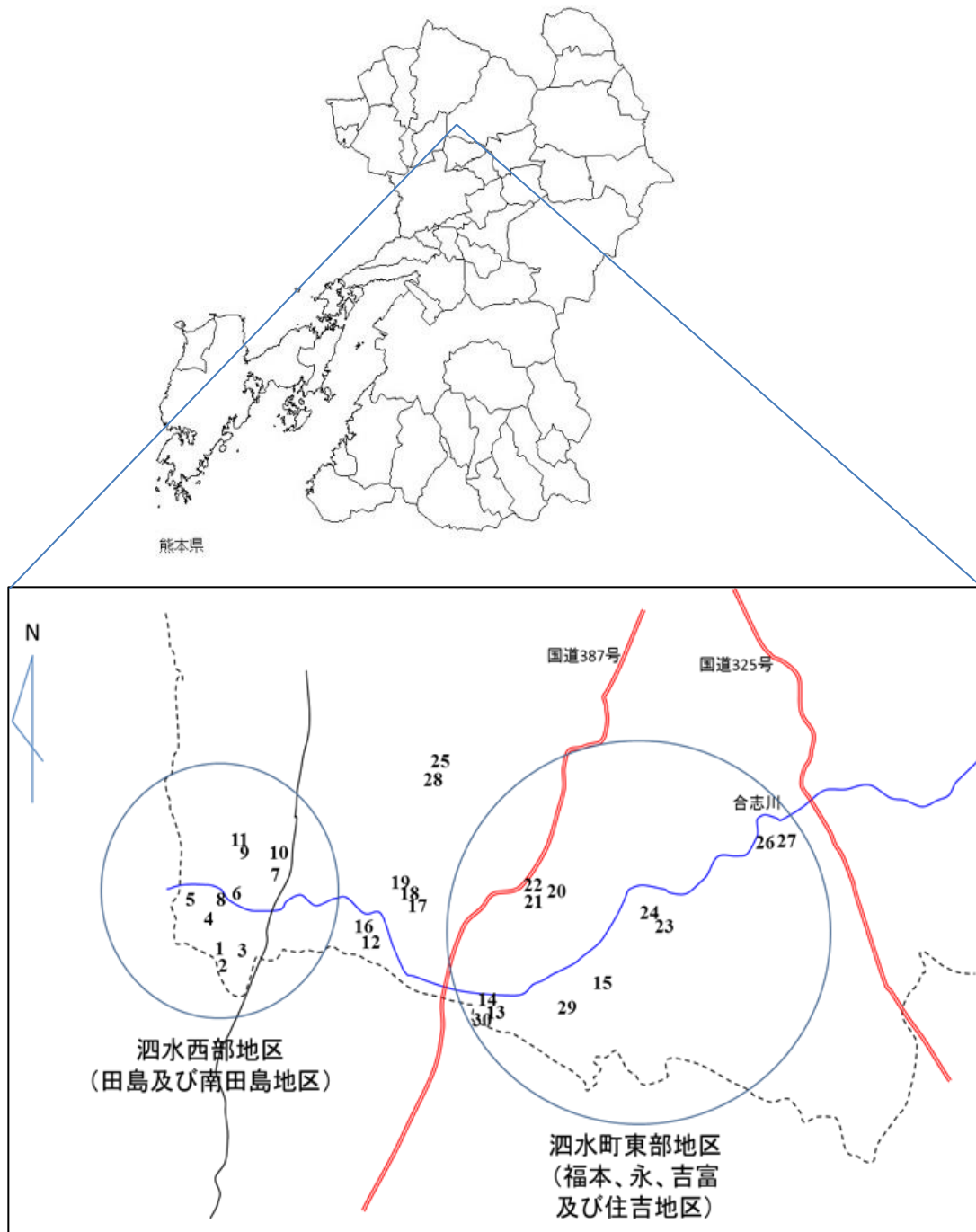


图1 泗水地区調査地点

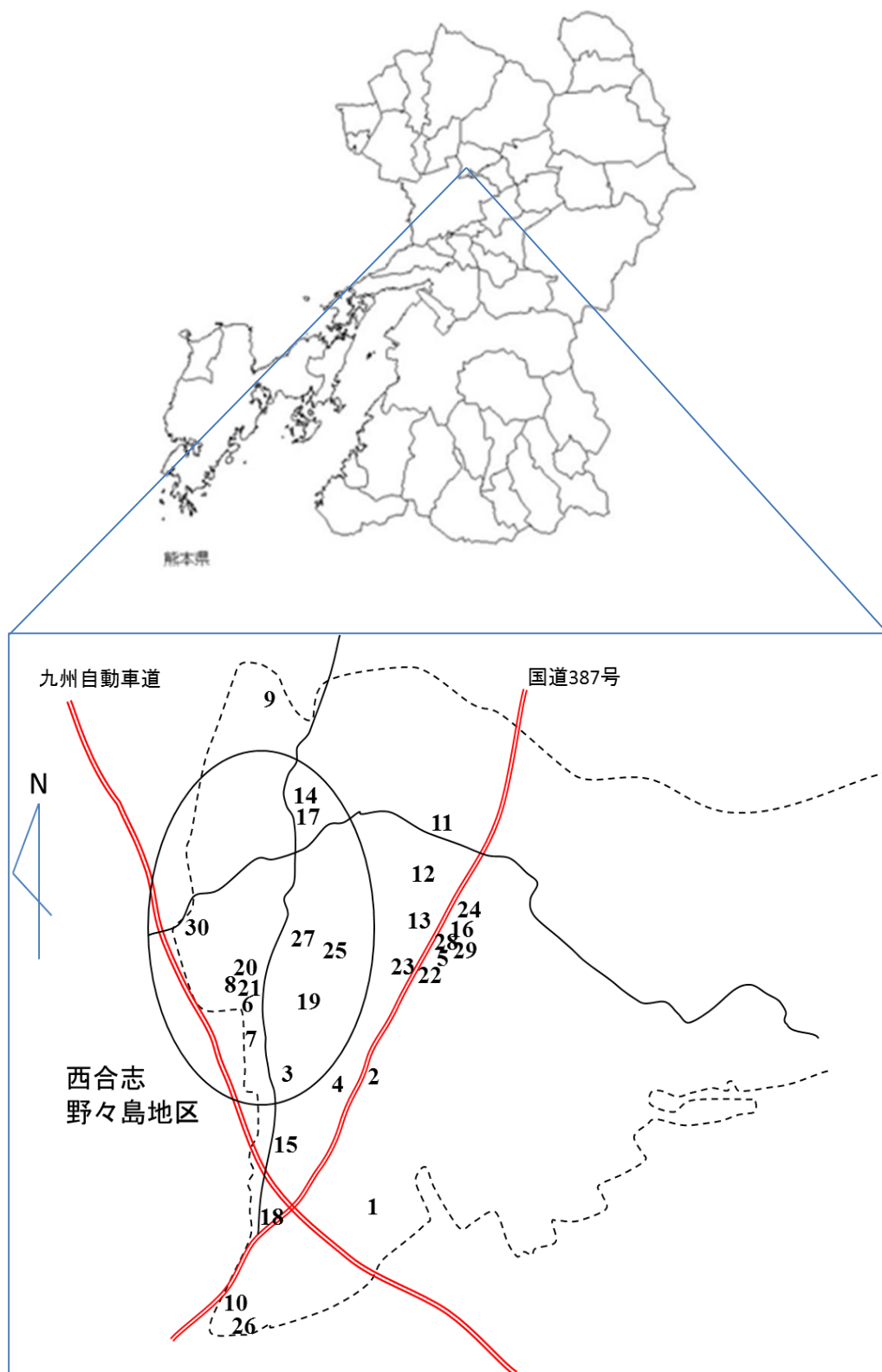


図2 西合志地区調査地点

別表1 泗水地区調査地点の概要及びイオン成分

No.	井戸深さ	ストレーナー位置	海拔 (地理院地図から推定)	陽イオン成分 (mg/L)					陰イオン成分 (mg/L)				
	[m]	[m]	[m]	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
1	30	15	45	16	<0.1	12	7.4	17	12	<0.015	0.054	21	21
2	30	18	49	14	<0.1	8.2	10	25	11	<0.015	0.078	36	28
3	不明	不明	60	12	<0.1	6.8	8.6	23	12	<0.015	0.077	30	18
4	45	43	46	12	<0.1	5.9	4.9	13	9.8	<0.015	0.036	18	12
5	40	16	39	20	<0.1	6.3	8.6	22	19	<0.015	0.056	27	20
6	100	不明	39	26	<0.1	7.8	7.8	21	17	<0.015	0.059	8.0	24
7	15	10	45	13	<0.1	6.9	2.4	13	4.5	<0.015	<0.025	24	11
8	6	不明	39	13	<0.1	12	6.3	15	14	<0.015	0.063	5.5	21
9	不明	不明	43	9.5	<0.1	7.2	3.4	11	7.0	<0.015	0.033	26	25
10	50	30	56	16	<0.1	8.4	11	29	5.7	<0.015	0.092	48	57
11	不明	不明	44	52	<0.1	4.2	1.6	7.6	17	<0.015	0.070	26	25
12	20	4	45	17	<0.1	25	4.6	14	9.7	<0.015	0.035	26	20
13	60	不明	51	11	<0.1	5.3	5.5	17	12	<0.015	0.027	22	8.1
14	50	4	50	8.8	<0.1	4.5	3.4	12	7.8	<0.015	<0.025	11	5.3
15	40	不明	64	9.6	<0.1	2.1	3.4	11	6.4	<0.015	0.041	25	14
16	4	4	44	9.7	<0.1	5.9	7.0	20	7.6	<0.015	0.036	37	14
17	40	8	48	17	<0.1	7.4	9.1	22	14	<0.015	0.057	36	21
18	50	12	49	13	<0.1	5.6	6.9	19	10	<0.015	0.044	24	20
19	不明	不明	50	11	<0.1	7.4	5.5	16	7.4	<0.015	0.058	30	14
20	30	不明	75	13	<0.1	6.1	14	36	18	<0.015	0.071	66	6.8
21	不明	不明	77	8.7	<0.1	3.7	8.3	18	6.0	<0.015	0.027	31	5.6
22	不明	不明	67	11	<0.1	2.9	4.9	14	7.5	<0.015	0.062	32	14
23	8	不明	67	14	<0.1	3.2	9.3	25	37	<0.015	0.046	18	42
24	12	10	65	11	<0.1	12	7.2	22	27	<0.015	0.049	27	29
25	47	25	62	9.5	<0.1	5.3	6.2	18	6.9	<0.015	0.029	40	4.5
26	不明	不明	74	8.6	<0.1	5.6	5.3	19	5.1	<0.015	<0.025	21	12
27	13	11	77	7.5	<0.1	9.0	3.0	7.8	4.4	<0.015	<0.025	28	15
28	5	4	52	14	<0.1	3.7	2.1	16	8.5	<0.015	<0.025	19	6.9
29	60	38	61	13	<0.1	8.4	11	28	10	<0.015	0.042	41	1.7
30	50	不明	59	7.7	<0.1	6.3	3.5	12	4.9	<0.015	<0.025	18	20

別表2 西合志地区調査地点の概要及びイオン成分

No.	井戸深さ	ストレーナー位置	海拔 (地理院地図から推定)	陽イオン成分 (mg/L)					陰イオン成分 (mg/L)				
	[m]	[m]	[m]	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
1	68	44-45, 49-50	45	9.4	<0.1	4.2	6.2	15	6.2	<0.015	<0.025	13	2.3
2	97	67-68	49	18	<0.1	5.4	6.2	16	10	<0.015	0.058	18	7.4
3	80	50-51	60	9.0	<0.1	3.6	6.9	16	4.8	<0.015	<0.025	14	0.5
4	120	不明	46	23	<0.1	5.1	6.9	18	12	<0.015	0.059	18	5.1
5	60	不明	39	10	<0.1	5.0	4.2	14	6.7	<0.015	0.057	10	2.8
6	75	65-70	39	11	<0.1	4.6	10	26	11	<0.015	0.215	53	12
7	75	65-70	45	12	<0.1	5.5	13	25	16	<0.015	0.094	22	14
8	100	65-70	39	10	<0.1	4.2	5.5	20	9.3	<0.015	0.1304	32	6.3
9	50	7-17	43	12	<0.1	6.0	8.8	27	14	<0.015	0.076	28	10
10	27	20-27	56	13	<0.1	4.8	6.2	17	8.7	<0.015	0.044	18	6.7
11	100	64-90	44	13	<0.1	6.1	7.3	21	8.2	<0.015	0.090	19	22
12	100	15-32, 43-72, 84-93	45	12	<0.1	7.4	7.5	22	8.0	<0.015	0.095	23	14
13	23	10-20	51	12	<0.1	6.2	6.4	18	7.1	<0.015	0.087	7.9	16
14	80	50-65	50	12	<0.1	6.6	8.2	23	12	<0.015	0.144	36	21
15	100	50-100	64	10	<0.1	3.9	6.4	15	11	<0.015	0.243	13	4.4
16	100	50-100	44	20	<0.1	5.5	4.3	13	9.4	<0.015	0.153	24	13
17	70	26-34	48	12	<0.1	6.7	9.3	26	14	<0.015	0.190	54	18
18	100	不明	49	34	<0.1	5.7	5.9	18	33	<0.015	0.156	19	6.9
19	68.5	不明	50	15	<0.1	5.2	8.8	22	21	<0.015	0.070	14	6.0
20	80	不明	75	10	<0.1	6.9	5.4	15	6.4	<0.015	0.068	25	21
21	86	不明	77	11	<0.1	4.7	6.0	16	7.8	<0.015	0.044	18	9.6
22	84	不明	67	11	<0.1	5.0	7.9	19	8.4	<0.015	0.034	25	13
23	80	45-67	67	12	<0.1	6.5	8.0	19	6.1	<0.015	0.034	24	14
24	90	65-90	65	10	<0.1	4.6	4.4	14	7.1	<0.015	0.055	12	2.1
25	100	80-95	62	8.0	<0.1	3.9	3.4	10	5.4	<0.015	<0.025	8.5	0.39
26	72	24	74	17	<0.1	5.0	4.0	11	7.5	<0.015	0.030	13	5.4
27	100	88-96	77	9.0	<0.1	3.9	5.1	15	13	<0.015	0.040	17	1.8
28	80	不明	52	10	<0.1	5.1	6.0	16	5.1	<0.015	0.034	7.3	2.1
29	80	不明	61	10	<0.1	5.0	5.9	16	5.1	<0.015	0.034	7.2	2.1
30	80	不明	59	13	<0.1	6.5	9.9	32	13	<0.015	0.082	36	15