

ISSN 1346-7328

国総研資料 第688号
平成24年6月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.688

June 2012

宮古湾におけるアマモ復元の視点でみた底質状況

岡田知也・吉田 潤・上村了美・古川恵太

Sediment conditions for restoration of eelgrass (*Zostera marina*) in Miyako Bay

Tomonari OKADA, Jun YOSHIDA, Satomi KAMIMURA, Keita FURUKAWA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

宮古湾におけるアマモ復元の視点でみた底質状況

岡田知也*・吉田 潤**・上村了美**・古川恵太***

要 旨

東北地方太平洋沖地震によって発生した津波によって、宮古湾の生態系は甚大な影響を受けた。干潟・浅場は大きく地形変形し、藻場は消失した。地形、底質環境、藻場は、沿岸生態系の基盤であり、それらの復元なくして生態系の復元はあり得ない。そこで本研究では、今後の宮古湾のアマモ場の復元を目指し、アマモ場の復元のための初期の情報として底質の状況を把握することを目的とし、調査および検討を行った。

調査は、2012年の2月に宮古湾で実施した。震災前にアマモが生育していた26地点で採泥を行った。各底泥に対して、粒度分布、含水比および強熱減量を分析した。アマモの生育に対する底質条件で比較的強い影響を及ぼす粒度分布を用いて、礫主体の2地点を除く24地点をグループ化した。グループ化にはエントロピー法を用いた。

24地点は、エントロピー法によって、7グループに分けられた。そして、それら7グループおよび礫主体の1グループは、アマモの生育の適性度という観点から、6グループに集約された。それぞれのグループは、水域毎に極めてきれいにまとまって分布していた。それぞれのグループは、粒度に関するアマモの生育条件を用いて、適性度が評価された。次に、そのグループ化された粒度分布のアマモの生育に対する適性評価に基づいて、宮古湾の水域を次のように3つのゾーンにゾーニングした。Z1: 現状でもアマモ生育に適した水域、Z2: 現状ではシルト成分が適正よりも多い底泥の水域、およびZ3: 粗砂・礫成分が適性よりも多い底泥の中に、中砂成分を適度に含んだ底泥が点在している水域。それぞれのゾーンに対して、今後のモニタリングの方向性を示した。今後は、本結果に基づいて、津波前の底質情報の収集、各ゾーンに適したモニタリング、および復元技術の検討を行っていく予定である。

キーワード：東日本大震災，津波，沿岸環境，復元，アマモ，底質，粒度分布，宮古湾

* 沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室長

** 沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室研究官

*** 沿岸海洋・防災研究部沿岸海洋新技術研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5023 Fax：046-844-1145 e-mail: okada-t92y2@ysk.nilim.go.jp

Sediment conditions for restoration of eelgrass (*Zostera marina*) in Miyako Bay

Tomonari OKADA*

Jun YOSHIDA**

Satomi KAMIMURA**

Keita FURUKAWA***

Synopsis

The ecosystem in Miyako Bay was greatly damaged during the tsunami generated by the "2011 Tohoku Earthquake off the Pacific coast". Topographical features of tidal flats and shallows were considerably changed, and large quantities of seagrass and seaweed disappeared. Since sediments and seagrass/seaweed beds are habitats of organisms in coastal areas, coastal ecosystems cannot be rehabilitated without their restoration. To provide basic background information for a future restoration of eelgrass (*Zostera marina*) in the bay, we undertook a study of current sediment conditions.

Field measurements were carried out at the head of the bay in February, 2012. Sediments were collected at 26 stations where *Zostera marina* had grown prior to the tsunami. Particle-size distribution, moisture content and loss on ignition were measured. Using entropy analysis, we grouped sediments according to particle-size distributions, which greatly influence the habitat of *Zostera marina*.

The stations were divided into sub-groups, and their suitabilities for *Zostera marina* restoration were assessed in each of these sub-groups by particle-size distributions. The head of the bay was divided into three zones on the basis of suitability for *Zostera marina*. Sediments in Zone 1 were suitable. Sediments in Zone 2 were too silty for *Zostera marina*. In Zone 3, suitable sediments and coarse sediments were mixed. Taking into account the characteristics of each zone, we proposed future monitoring plans.

Key Words: the Great East Japan Earthquake, tsunami, coastal ecosystem, restoration, *Zostera marina*, sediment, particle-size distribution, Miyako bay

*Head of Marine Environment Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department

**Researcher of Marine Environment Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department

***Research Coordinator for Coastal and Marine Affairs, Marine and Disaster Prevention Department

National Institute for Land and Infrastructure Management

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone: +81-46-844-5023 Fax : +81-46-844-1145 e-mail: okada-t92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 方法	1
2.1 アマモとは	1
2.2 データ	3
2.3 エントロピー法	3
3. 結果	5
3.1 グループ化	5
3.2 各水域の特徴	6
3.3 強熱減量, 含水比	6
4. 考察	6
5. おわりに	11
謝辞	11
参考文献	11
付録 A	13
付録 B	15

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災の津波によって、三陸地方沿岸域の生態系は大きな被害を受けた（例えば、鈴木ら，2011；後藤，2011）。干潟や浅場の地形は大きく変わり、底泥は攪乱され、藻場の多くが消失した。地形、底質環境、藻場は、沿岸生態系の基盤であり、それら被害による沿岸生態系への影響は計り知れない。したがって、沿岸環境の復元のために、それら生物生息基盤の復元が極めて重要である。

復元には、自然の復元力による復元と、人為的な行為による復元がある。漁場整備に関しては人為的な復元が少しづつではあるが始まっているが、その他の沿岸環境に対しては自然の復元力に期待している状態と言えよう。

ところが、今回の津波の様な強烈かつ広範囲な沿岸生態系および生態系基盤の破壊は近代科学にとって未経験であり、「自然の復元力に期待して、元の生態系に復元するのか?」、または「違った生態系となるのか?」、「復元するとしたらどの程度の期間で復元するのか?」等々、自然の復元過程メカニズムに関して未知な点が多い。

したがって、沿岸環境の自然の復元力について知見を増やすことが、今後の沿岸環境の復元に向けて強く求められていると考えている。この自然の復元力に対する理解が深まれば、自然の復元力の強弱に合わせた、効率的・効果的な人為的な復元策を講じることが可能になると考えるからである。

今回の津波による沿岸生態系の被害は多面的かつ広範囲に渡っているが、一連の本研究では、次の3つの理由からアマモ場に着目し、アマモの復元過程について検討する。①アマモは砂地盤に繁茂する。そのため、今回の津波により、砂地盤ごと消失した場所が多く被害が大きいこと。②アマモ場の再生には砂地盤の回復が必要であり、地形や底質環境の復元過程を合わせた総合的な環境復元過程を検討できること、③アマモ場は沿岸域に生息する高次生態系の産卵場および稚子魚の生育場であり、高次生態系の生活史には欠かせない場所であり、その再生は急務であること。

対象とする水域は、宮古湾とした。宮古湾では、アマモがニシンの産卵場として着目されていたが、津波によって大幅に減少してしまったことが報告されている（山根，2011）。宮古湾の湾奥の水深が5m以浅に対して、宮古湾湾奥地域の津波浸水高は7m - 11mだった（原口・岩松，2011）ことから、津波は碎波しながら押し寄せたと推測される。YouTube等で公開されている津波の映像



写真-1 アマモ ((独) 港湾空港研究所 沿岸化学物質メソコソム実験施設)

からも、そのような津波の襲来の様子がみてとれる。碎波を伴った波が底面に及ぼす影響（掃流力）は大きく、アマモは海底の底泥と共に根こそぎ消失したと推測される。

したがって、アマモの復元に対しては、アマモの生育基盤となる底質の状況の把握が不可欠である。把握のポイントは、①かつてアマモ場だったところの底質の現状は、アマモの生育に適した状態だろうか?②現状では適していなくても、底質の復元の可能性はあるだろうか?等と考える。

そこで本研究では、今後の宮古湾のアマモ場の復元を目指し、アマモ場の復元のための初期の情報として、上記で示したポイントの視点から底質の状況を把握することを目的とし、調査および検討を行った。

2. 方法

2.1 アマモとは

アマモ (*Zostera marina*) は、日本各地沿岸に分布し、波の静かな内湾の砂泥質の浅海域に多い（千原，1970）。アマモは種子植物（顕花植物）で、海藻類と異なり、根、

表-1 アマモの生育条件

環境要因	生育条件
水温	月平均水温28℃以下
塩分	17～34
水深	透明度の2倍程度
粒度	シルト分30%以下 中央粒径0.14～0.39mm
底質	強熱減量5%以下 COD 5mg/g以下 硫化物 1mg/g以下
波・流れ	波高0.5m以下 流速60cm/s以下

茎、葉の区分があり、花を咲かせて種子を作る（写真-1）。葉の長さは、50 - 100 cm、幅は3 - 5 mmである。

アマモ場をはじめ藻場は、①基礎生産、②デトライタス食物連鎖と一次消費者の維持、③産卵場および保育場、④摂餌場および隠れ場、および⑤環境の安定化の機能をもつ（国土交通省港湾局、2003）。基礎生産では、アマモは光合成により無機物から有機物を生成すると共に、酸素を水塊中に供給する。デトライタス食物連鎖とは、枯死してデトライタス（懸濁態有機物）化した植物体が、底生生物の餌となる過程のことである。アマモ場内は、流動や波の影響が少ない静穏域が形成され、魚類の保育場や産卵場となる。アマモの葉の表面には微小動物が付着し、それを摂餌する魚類の摂餌所となる。アマモに

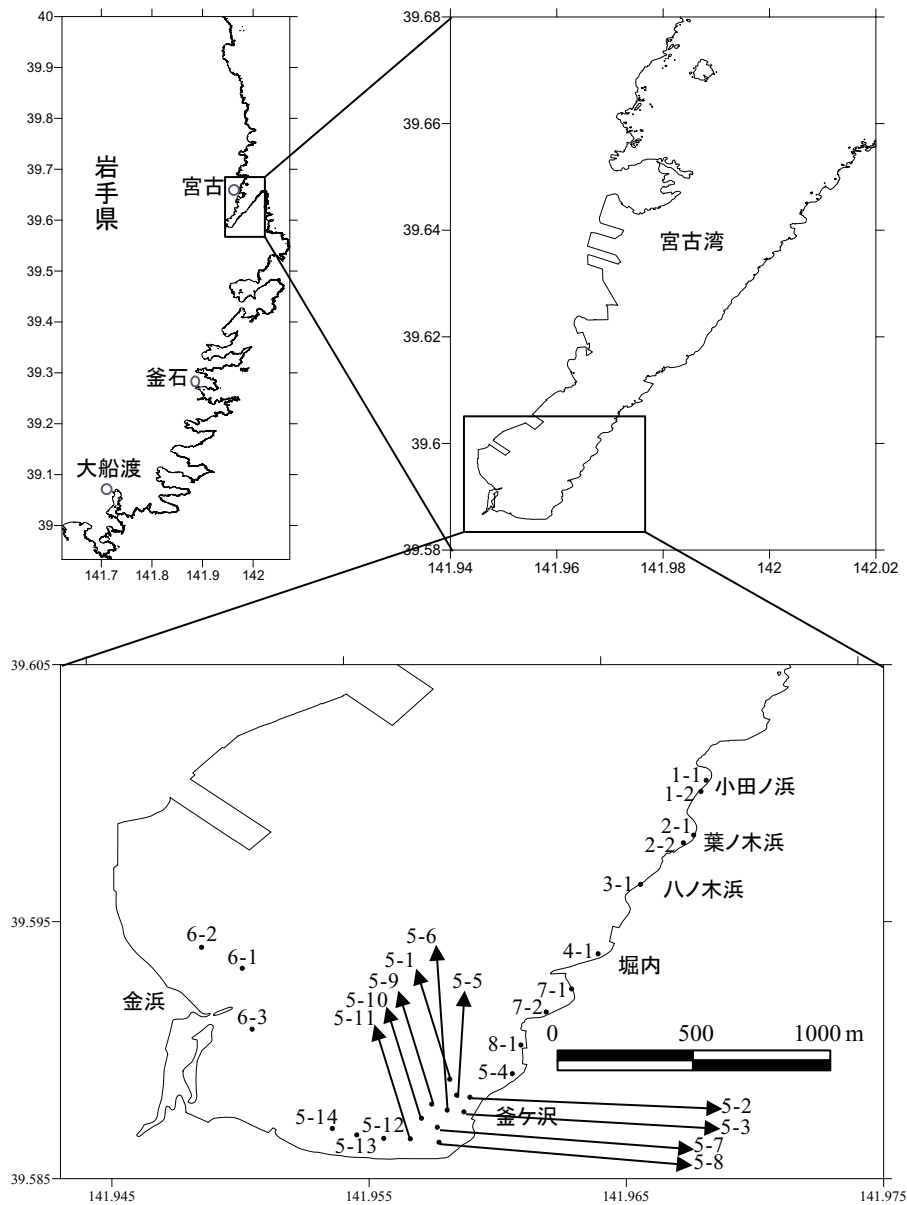


図-1 調査地点. 図中の数字は調査地点番号 (stn.) を示す.

よる静穏域の形成は、堆積環境にも大きな影響を与える。特にアマモは地下茎の効果によって漂砂を防ぎ砂地盤の安定化をもたらす。

アマモの生育条件は、水温、塩分、水深、粒度、底質および波・流れである(表-1)(マリノフォーラム 21)。アマモは光合成をして成長するので、光条件は重要である。一般に、透明度の2倍程度の水深が、限界水深と言われている。アマモは砂質系の底質を好み、シルト分は30%までである。また、その砂質系の底質に根をはって生育するため、砂が流されない程度の流況の場所を好む。波高・流速で示すと、波高はおよそ0.5 m以下、流速はおよそ60 cm/s以下である。このような生育条件の中で、津波によって大きく変わった可能性がある条件は、粒度および底質と考えた。

2.2 データ

調査は、2012年の2月に宮古湾湾奥で実施した。宮古湾のアマモ場に詳しい地元の漁業者の意見を参考にし、震災前にアマモが成育していた水域を特定し、その水域において26地点の採泥を行った(図-1)。採泥は、底質がシルト系の場所ではエクマン・バージサンプラーを、底質が砂・礫系の場所ではスミス・マッキンタイヤサンプラーを用いて、船上から実施した。グラブサンプラーで採取された底泥の表層2 cmをスプーンで取り出し、分析用のサンプルとした。層厚を2 cmとした理由は、今後の短期的(数カ月から年程度の時間スケール)な底質変化を精度良く測定するためである。ただし、礫成分

が多い地点に対しては、表層2 cmを選択的に取ることが不可能だったため、全サンプルを分析試料とした。サンプルは速やかにクーラーボックスに入れ、冷蔵保存とした。

各底泥に対して、粒度分布、含水比および強熱減量を分析した。粒度分布の測定には、レーザ回折・分散式粒度分布測定装置(LA-950、堀場製作所)を用いた。粒度区分は表-2に示す60分割とした。26地点のうち2地点の底泥(stn. 1-2, 3-1)(図-1)は、礫(3000 μm(3 mm)以上)および粗砂が多かったため粒度分布測定から除外した。

2.3 エントロピー法

アマモの生育に対する底質の条件である粒度分布を用いて、24地点のグループ化に際し、エントロピー法を用いた。エントロピー法について、以下に説明する。

(1) コンセプト

自然界の底泥の粒度は単一粒度ではなく、少なくともある程度の分布を持つ。そのため、中央粒径、ソート度および歪度等の粒度分布を1つの指標に集約した値(以後、統計値と呼ぶ)を用いて粒度分布は表現されてきた。ただし、これら統計値を使う前提は、粒度分布が1つのガウス関数で近似できることである。しかし、実際の海域において、粒度分布が1つのガウス関数で常に近似できるとは限らない。むしろ近似には無理がある場合が多いと思われる。

表-2 レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置による粒径区分

No	Grain size (μm)	log (Grain size)	No	Grain size (μm)	log (Grain size)	No	Grain size (μm)	log (Grain size)
1	1.0	0.00	21	15.2	1.18	41	229.1	2.36
2	1.2	0.06	22	17.4	1.24	42	262.4	2.42
3	1.3	0.12	23	19.9	1.30	43	300.5	2.48
4	1.5	0.18	24	22.8	1.36	44	344.2	2.54
5	1.7	0.24	25	26.1	1.42	45	394.2	2.60
6	2.0	0.30	26	29.9	1.48	46	451.6	2.65
7	2.3	0.36	27	34.3	1.53	47	517.2	2.71
8	2.6	0.41	28	39.2	1.59	48	592.4	2.77
9	3.0	0.47	29	44.9	1.65	49	678.5	2.83
10	3.4	0.53	30	51.5	1.71	50	777.1	2.89
11	3.9	0.59	31	59.0	1.77	51	890.1	2.95
12	4.5	0.65	32	67.5	1.83	52	1019.5	3.01
13	5.1	0.71	33	77.3	1.89	53	1167.7	3.07
14	5.9	0.77	34	88.6	1.95	54	1337.5	3.13
15	6.7	0.83	35	101.5	2.01	55	1531.9	3.19
16	7.7	0.89	36	116.2	2.07	56	1754.6	3.24
17	8.8	0.95	37	133.1	2.12	57	2009.7	3.30
18	10.1	1.00	38	152.5	2.18	58	2301.8	3.36
19	11.6	1.06	39	174.6	2.24	59	2636.5	3.42
20	13.2	1.12	40	200.0	2.30	60	3000.0	3.48

一方、近年の技術発展により、これまで篩を用いて測定していた粒度分布が、レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置によって、測定が容易になった。加えて、レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置に必要なとされる試料の量は、高々数 g 程度である。その結果、分析および採泥に対する労力は従来に較べて格段に軽減し、多地点の粒度分布を得ることが可能になってきている。しかし、その多地点の粒度分布データを解析・表現する手法が無いため、せっかく得られた粒度分布データの統計値のみしか使われていない場合が多い。

Forrest and Clark (1989) および Woolfe and Michibayashi (1995) らはこの問題を解決するために、情報理論分野で確立されたエントロピー法 (Shannon, 1963) を粒度分布に適用する手法を提案した。この手法は、粒度分布の分布形状をエントロピー量を用いて解析し、多数の粒度分布を最適なグループに分割する手法である。グループ化において粒度分布の全体形状を直接使うため、統計値を使った解析と較べて粒度分布が持つ情報量の損失が小さい利点がある。これまでの適用事例は、Forrest and Johnston (1981), Forrest and Clark (1989), Woolfe and Michibayashi (1995), Woolfe (1995), Woolfe *et al.* (1998), Woolfe *et al.* (2000), Orpin and Kostylev (2006), Mikkelsen *et al.* (2007), Okada *et al.* (2009), 岡田ら (2009a), 岡田ら (2009b) 等がある。

(2) 計算方法

粒度サイズが J 個に分割された 1 つの粒度分布のエントロピー E は

$$E = -\sum_{j=1}^J p_j \log p_j \quad (1)$$

と表現される (例えば, Forrest and Clark (1989), Orpin and Kostylev (2006))。ここで、 p_j は粒度サイズ j 番目の粒度の頻度である。このエントロピー E は、全ての p_j が $1/J$ の時に最大値 $\log J$ になり、1 つの粒度サイズ p_j が 1 で他の p_j が 0 の時 (均一粒度) に最小値 0 になる。この時、不等度合い I は次式で定義される。

$$I = (\log J) - E \quad (2)$$

I は、 E が最大の時に 0 となり、 E が最小の時に $\log J$ となる。

次に粒度分布データが複数ある場合を考える。J 個にサイズ分割された N 個の粒度分布 (Y_{ij} : $i = 1 \sim N$, $j = 1 \sim J$) に対する不等度合い I_T は次式で表現される。

$$I_T = \sum_{j=1}^J Y_j \sum_{i=1}^N Y_i \log NY_i \quad (3)$$

ここで、

$$Y_j = \sum_{i=1}^N Y_{ij}, Y_i = \frac{Y_{ij}}{Y_j} \quad (4)$$

である。

そして、N 個のデータが R 個のグループに分けられた時、グループ間の不等度合い I_B は次式で表される。

$$I_B = \sum_{j=1}^J Y_j \sum_{r=1}^R p_{jr} \log \left(\frac{p_{jr}}{N_r / N} \right) \quad (5)$$

$$p_{jr} = \frac{\sum_{i \in r} Y_{ij}}{Y_j} \quad (6)$$

ここで、 N_r は R 個のグループ中のグループ r のデータ数である。

グループ化の最適化過程では、各グループ内の不等度合いが小さく、グループ間の不等度合い I_B が大きくなるように、データはグループ化される。そして、グループ化された結果が、元の全データの特徴をどの程度説明しているかは、次式で示される R_s で表現される。

$$R_s = \frac{I_B}{I_T} \cdot 100 \quad (7)$$

グループ数が多くなれば、 I_B は I_T に近づき、 R_s は 100 % に近づく傾向が一般的にあるが、多くのデータを少ないグループで説明するというグループ化本来のメリットは減少する。

最適なグループ数を推測する方法は幾つか提案されている。一つは、 R_s が 70% 以上で、 R_s の増加率が小さくなった付近のグループ数を選ぶ手法 (Woolfe *et al.*, 1998) である。これは、 R_s の増加率が小さいということは、分割効率が小さいことを意味することに基づいている。次に、C-H の分散比基準を用いた方法である (Calinski *et al.*, 1974 ; Orpin and Kostylev, 2006)。C-H の分散比基準が大きい程、最適に近いグループとみなされる。しかし、これらは絶対ではなく、これらを参考にして、実際のグループ化された分布を比較し、グループ化の目的にあったグループ数を最終的には判断するべきであると考える。

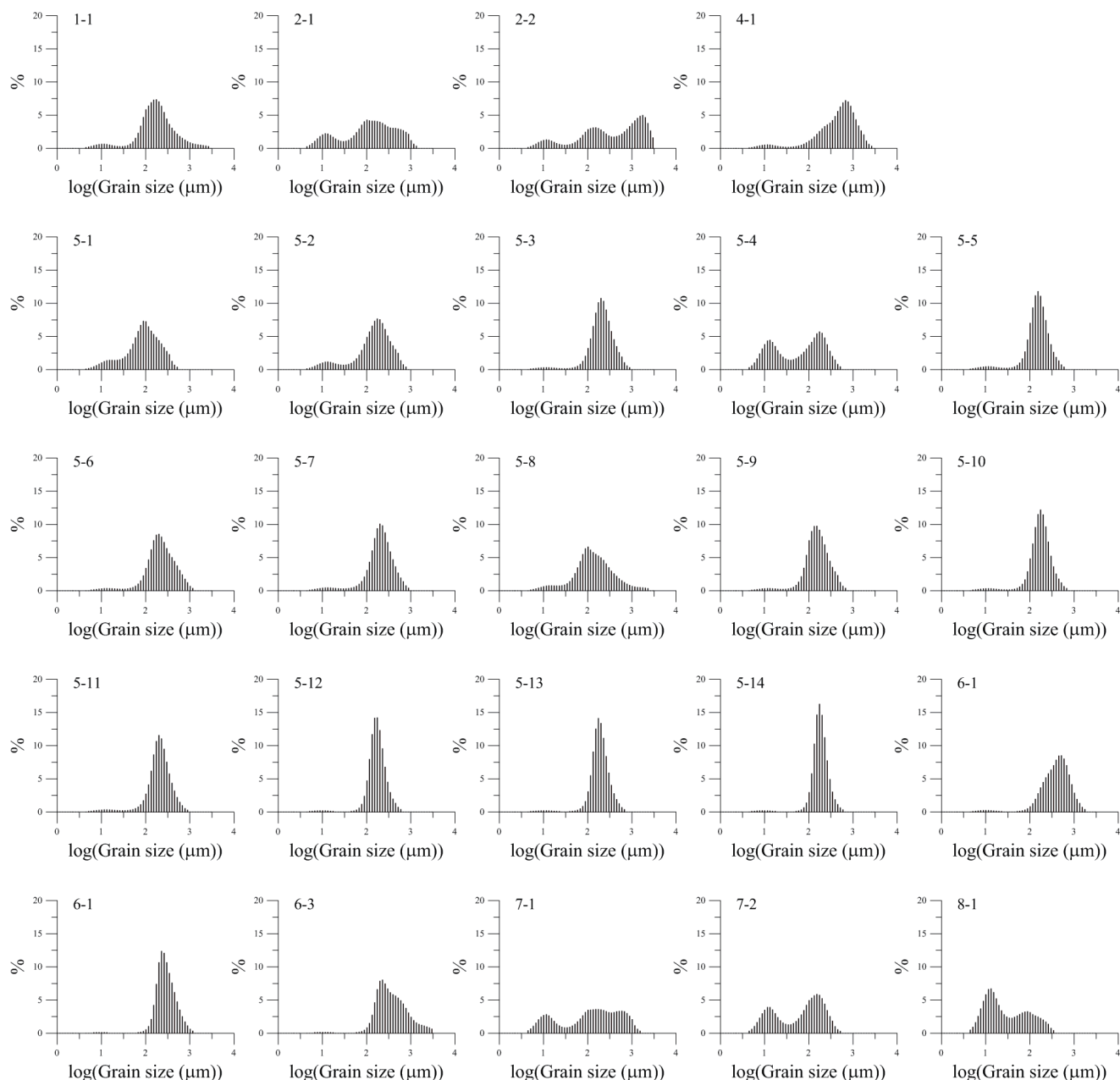


図-2 各地点の粒度分布

3. 結果

3.1 グループ化

礫主体の底質だった2地点を除いた24地点の粒度分布は、1つのモードの粒度分布から、3つのモードを持つ粒度分布まで、種々の分布形状を示した(図-2)。これらの粒度分布をエントロピー法を用いてグループ化した。

R_s の値は、4グループ以上で70%以上になった(図-3)。6グループおよび7グループ付近で R_s の勾配は小

さくなくなった。またC-Hは7グループで極大値をとった。そこで、6グループおよび7グループに対して、グループ化された粒度分布を比較した。図-4の粒度分布は各グループ内で平均化された粒度分布であり、 n は各グループ内のデータ数、縦方向の実線は±標準偏差を示す。(参考として、2グループから5グループの場合を付録Aに示す。)6グループと7グループを比較すると、 g_61 , g_62 , g_63 の3つのグループが4つのグループ(g_71 , g_72 , g_73 , g_74)に再編され、新たに g_73 が現れた。

空間的な分布でみると、6グループでは釜ヶ沢沖にお

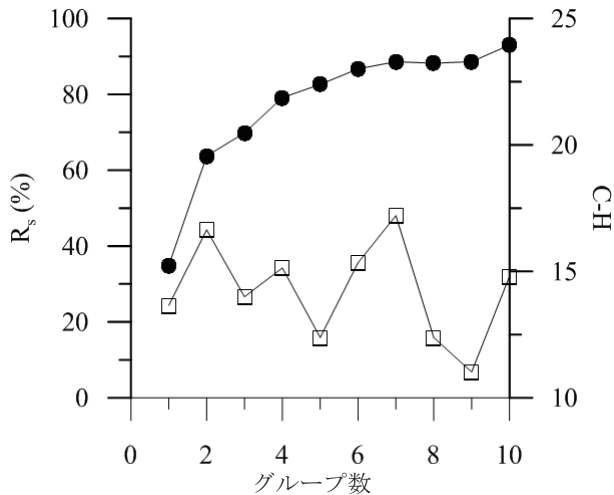


図-3 グループ数と R_s および C-H の関係

ける g₆1 の分布と g₆2・g₆3 の分布の境界が不明瞭であるのに対して、7グループでは明確に分かれた(図-5, 6)。

アマモの生育の適性度では、g₆1 の粒度分布はシルト成分が適性よりも過剰であり、g₆2・g₆3 の粒度分布はシルト成分が少なく適性であった。6グループと7グループで所属が変わった stn.5-1 の粒度分布(図-2)はシルト成分が少なくアマモの生育に対して適性であるので、6グループより7グループの方が、アマモ生育の対するグループ化として適していると考え、7グループを採用した。

3.2 各水域の特徴

各水域の特徴を評価する際において、エントロピー法によって分けられたグループの中で、アマモの生育の適性度という観点から類似している粒度分布を持つグループ(g₇2, g₇3, g₇4)を1つのグループにまとめた(図-7)。その結果、最終的には、礫のグループを含めて6個のグループ(G1 - G6)に集約された。それぞれのグループの粒度分布の特徴は次の通りだった。

G1: 卓越する粒径が 10 - 20 μm および 100 - 200 μm の2つ、主な粒径が 3 - 500 μm、粒度分布の拡がりが大きいシルト混じりの細砂。

G2: 卓越する粒径が 200 - 300 μm、主な粒径が 40 - 1000 μm、粒度分布の拡がりが小さい細砂。

G3: 卓越する粒径が 200 - 300 μm、主な粒径が 100 - 3000 μm、粒度分布の拡がりが中程度の粗砂混じりの細砂。

G4: 卓越する粒径が 10 - 20 μm および 100 - 1000 μm の2つ、主な粒径が 3 - 1000 μm、粒度分布の拡がりが

大きいシルト・粗砂混じりの中砂。

G5: 卓越する粒径が 500 - 1000 μm、主な粒径が 20 - 3000 μm、粒度分布の拡がりが大きいシルト・細砂混じりの粗砂。

G6: 3000 μm 以上の礫が卓越。

それぞれのグループは、水域毎に非常にきれいにまとまって分布していた。G1 は、釜ヶ沢の北側(湾口側)の沿岸に、G2 は、釜ヶ沢の沖から湾奥側に、G3 は、金浜の沖にまとまっていた。堀内から小田ノ浜にかけての沿岸では、G4 から G6 が混在していた。小さな岬の背後にあたる地点(stn.1-1, stn.2-1, stn.7-1)では、G2 や G4 のようにアマモ生育に適した砂成分を含んだ底質であるが、岬の背後から外れると G5 や G6 のような粗砂や礫主体の底質となっていた。

3.3 強熱減量、含水比

強熱減量は釜ヶ沢の北側の沖の地点である stn.8-1 において、アマモ生育の適性基準の5%よりも高く8.2%だった(図-8)。その他の水域では、適性基準以下だった。

含水比は、表-1においてアマモ生育条件の指標とはなっていないが、参考のために示す。強熱減量と含水比の間には、良い相関があった。この関係は、その他の湾の底泥でも見られ(例えば、岡田ら, 2005, 岡田ら, 2011)、含水比が高い程、強熱減量は高い値となる傾向を示した(図-9)。強熱減量が適性基準を上回った stn.8-1 の含水比は93だった。東京湾の値(図-10)と比較すると、強熱減量が高い割には、それほどヘドロのような性状を示していなかった。

4. 考察

表-1に示したようにアマモに適した底質の条件は、中央粒径が 140 - 390 μm、強熱減量が5%以下である。ここでは、この中央粒径の値を粒径の範囲と置き換えて、図-7に示した各グループ(G1 から G6)のアマモ生育に対する適性を評価する。

G1: 2つのモードの内、大きいモードは適性粒径に一致するが、小さいモードが適性粒径より小さく、その小さいモードの割合は、大きなモードと同じ程度の割合であることから、適性よりも泥っぽいと考えられる。

G2: g₇2 が適性粒径に対して少しシルト成分が多いもの

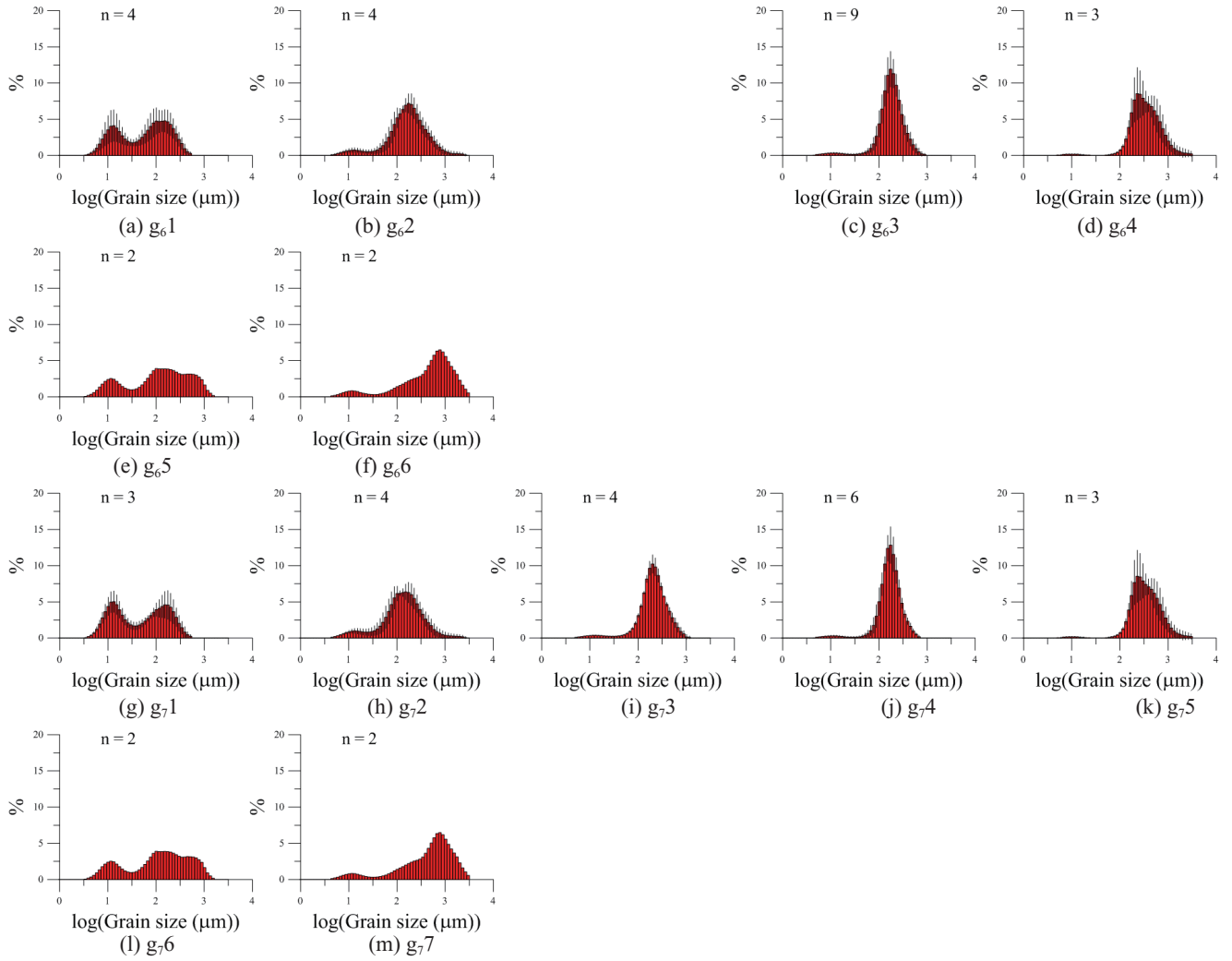


図-4 6グループ (a から f) および7グループ (g から m) の各グループの平均粒度分布. 縦バーは各フラクションの土標準偏差を示す.

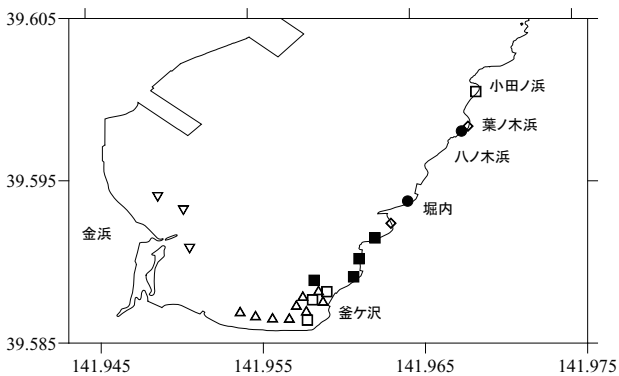


図-5 6グループの空間分布 (■:g₆1, □:g₆2, △:g₆3, ▽:g₆4, ◇:g₆5, ●:g₆6)

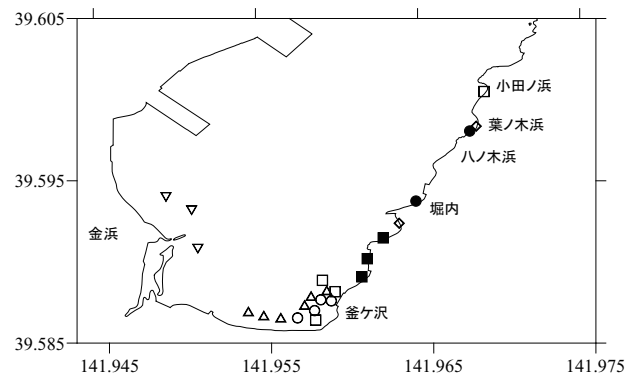


図-6 7グループの空間分布 (■:g₇1, □:g₇2, ○:g₇3, △:g₇4, ▽:g₇5, ◇:g₇6, ●:g₇7)

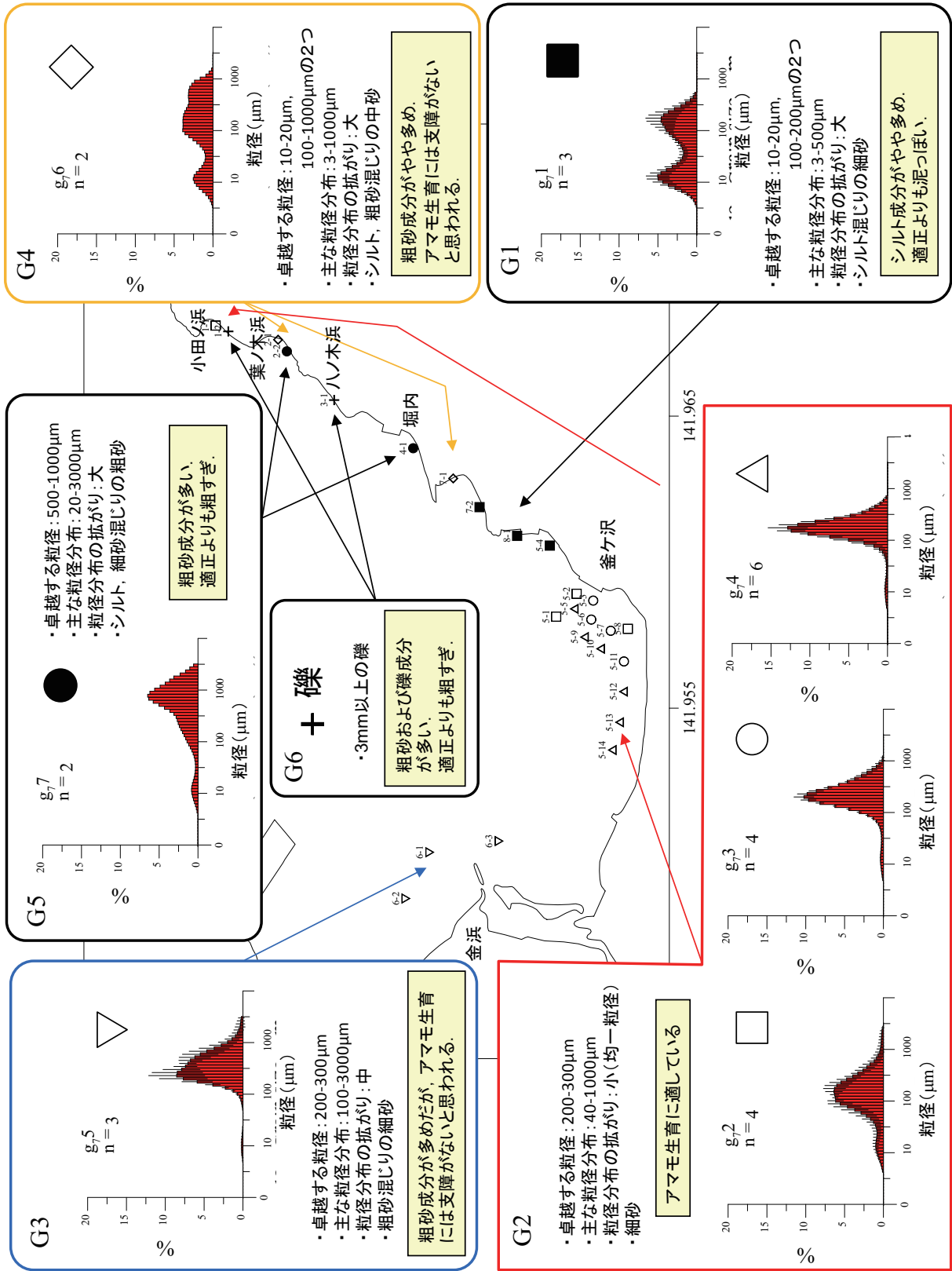


図-7 各グループの特徴とその空間分布図

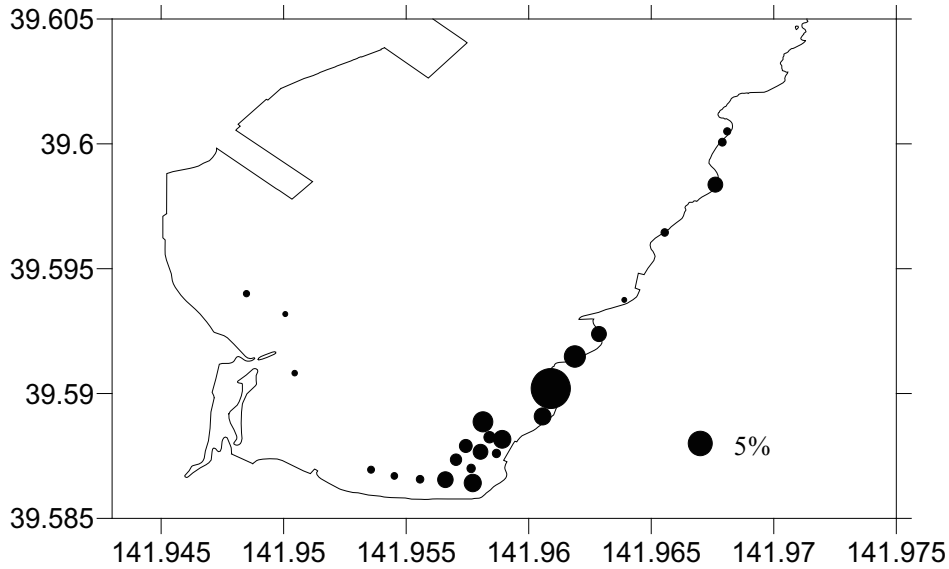


図-8 強熱減量の分布

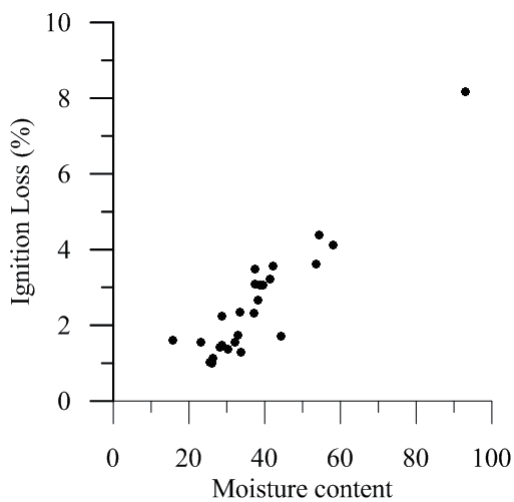


図-9 含水比と強熱減量の関係

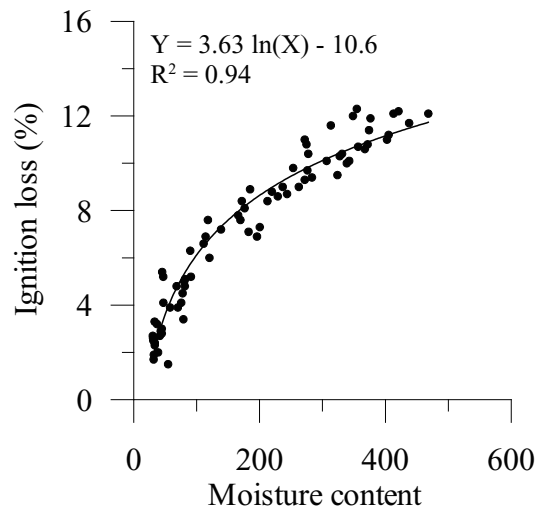


図-10 東京湾における含水比と強熱減量の関係

の、 g_2 , g_3 , g_4 ともに卓越する粒径は適性範囲に入っており、アマモの生育に適していると考えられる。

G3: 適性粒径よりも大きい粗砂成分が多いが、卓越する粒径は適性範囲に入っており、アマモの生育には支障がないと思われる。

G4: 適性よりも小さいモードがあるが、その割合は小さく、また適性よりも大きな粒径も存在するが、主要なモードとなっていないので、アマモ生育には支障がないと思われる。

G5: 卓越する粒径が、適性範囲よりも大きく、アマモ生育は困難と思われる。

G6: 礫が多く、適性範囲よりも大きく、アマモ生育は困難と思われる。

強熱減量で評価すると、適性範囲を超えているのは、 $stn.8-1$ の1地点だけだった(図-8, 9)。この地点はG1内の点であり、シルト成分が多いことから、妥当な結果である。

これらの評価から、宮古湾湾奥の水域は、アマモの生育に対して次のようにゾーニングできる(図-11)。

Z1: アマモの生育に適した底泥の水域。

Z2: シルト成分が適性よりも多く、強熱減量も高めの

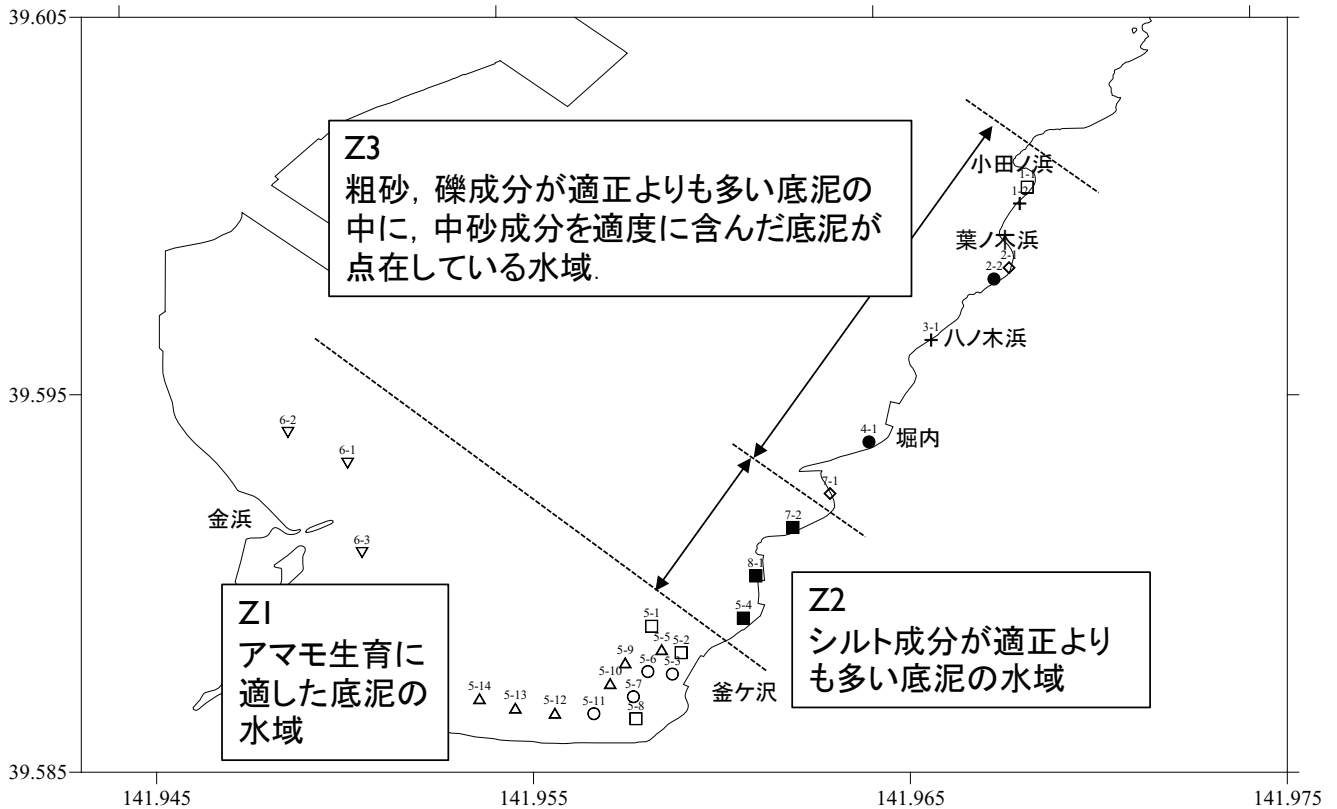


図-11 アマモの生育条件からみたゾーニング

底質で、アマモの生育には適さない底質の水域。

Z3：粗砂・礫成分が適性よりも多い底泥の中に、中砂成分を適度に含んだ底泥が点在している水域。

Z1の底質は現状でもアマモに適した状態なので、Z1はアマモの自然の復元の可能性が高い水域である。しかし、津波の被害から逃れ、現状残っているアマモは、葉ノ木浜の岬の裏にある程度であり（2012年5月、アマモ場再生活動で繋ぐ復興の絆プロジェクト調べ）、復元のための種子の供給が乏しいことから、自然復元力の速度は遅いことが推測される。3年程度での復元を望む場合には、移植等の人為的な手助けが必要になるだろう。したがって、Z1に対しては、アマモの自然復元のモニタリングおよびZ1に適したアマモ移植の技術の検討が必要であると考えられる。

Z2の現状の底質は、シルト成分が適性よりも多く、アマモの生育にあまり適してはいない。よって、アマモの自然復元はあまり期待できない。アマモの復元のモニタリングだけでなく、底質の変化のモニタリングが必要であると考えられる。

Z3では、適性よりも粗めの底質と、適性な底質がモザイク状に混在していると考えられる。この水域では、

津波の掃流力によって、アマモと同時に細砂成分も消失し、粗砂や礫成分が残ったものと推測される。地元の方の証言によると、津波前には存在しなかった砂浜ができたところもある。このような一部に溜まった砂が台風等のイベントによって、周辺に拡散することを期待するが、昨年度の台風ではその砂浜に大きな変化は無かったようである。このことは、短期的には大きな砂の変化はあまり期待できないことを示しており、長期的（5年から10年）なスケールで、底質の変化をモニタリングする必要があるだろう。一方で、この水域には、残存するアマモがあるので（葉ノ木浜）、そこを起点とし、点在する適性な底質の所における小規模な自然回復の可能性が期待できる。よって、現状において、「そのようなスポット的な復元可能性がある場所が、どんなところにどの程度あるのか？」に関する詳細な水平スケールの底質調査が必要であると考えられる。最初はスポット的な復元であっても、アマモは砂泥質をトラップし砂地盤を安定化する機能があるので、自ら適した底質に周辺環境を変えていく可能性がある。その点を考慮したモニタリングが必要であろう。

5. おわりに

津波後の宮古湾の底質を、粒度分布のグループ化の手法を用いてグループ化した。そのグループ化された粒度分布のアマモの生育に対する適性評価に基づいて、宮古湾の水域を次のように3つのゾーンにゾーニングした。Z1: 現状でもアマモ生育に適した水域, Z2: 現状ではシルト成分が適性よりも多い底泥の水域, および Z3: 粗砂・礫成分が適性よりも多い底泥の中に、中砂成分を適度に含んだ底泥が点在している水域。それぞれに対して、今後のモニタリングの方向性を示した。今後は、本結果に基づいて、津波前の底質情報の収集、各ゾーンに適したモニタリング、および復元技術の検討を行っていく予定である。

(2012年5月31受付)

謝辞

本研究を進めるにあたり、宮古湾の藻場・干潟を考える会会長・岩手県指導漁業士の山根幸伸氏、NPO法人いわてマリンフィールド理事長橋本久夫氏、独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所、東北地方整備局釜石港湾事務所宮古出張所には有益な助言を頂いた。また、本研究の一部は、科学研究費基盤研究(C) (課題番号: 2356615, 研究代表者: 岡田知也) の支援によって実施された。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 岡田知也・古川恵太 (2005) : 東京湾沿岸域における音響装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1431-1435, 2005.
- 岡田知也・グエン・ティエ・モンチン・古川恵太 (2009a) : 粒度分布形状に基づいた底泥分布図の提案 - 東京湾を例として -, 海洋開発論文集, Vol.25, pp. 401-406.
- 岡田知也・グエン・ティエ・モンチン・古川恵太 (2009b) : 底泥の化学組成および粒度分布を用いた底泥輸送の推定 - 京浜運河への適用事例 -, 海岸工学論文集, 56, pp. 976-980.
- 岡田知也 (2011) : 内湾域における底泥について, 2011年度(第47回)水工学に関する夏期研修会講義集.
- 国土交通省港湾局 (2003) : 海の自然再生ハンドブック
- 第3巻 藻場編, 株式会社ぎょうせい, 110p.
- 後藤友明 (2011) : 東日本大震災によって三陸海岸域の海と海洋生物に何がおこったか, *Ebucheb*, Vol.43, pp. 2-5.
- 鈴木昌弘, 石丸隆, 伊藤進一, 梅澤有, 小川浩史, 木暮一啓, 小松輝久, 高田秀重, 田辺信介, 津田敦, 中田薫, 福田秀樹, 風呂田利夫 (2011) : 東日本大震災による海洋生態系影響の実態把握と今後の対応策の検討 (提言), 日本海洋学会ニューズレター, Vol.1, No.3, pp. 1-4.
- 千原光雄 (1970) : 標準原色図鑑全集 第15巻 海藻, 株式会社保育社, 173p.
- 原口強・岩松暉 (2011) : 東日本大震災 津波詳細地図, 上巻, 株式会社古今書院, 167p.
- マリノフォーラム 21 : アマモ類の自然再生ガイドライン, <http://www.mf21.or.jp/pdf/amamo/guideline.pdf> (2011年5月現在)
- 山根幸伸 (2011) : 東日本大震災からの復興—宮古湾の漁業と環境について—, 東日本大震災からの復興 岩手県沿岸域の生の声をきく会 概要集.
- Calinski, T., Harabasz, J. (1974) : A dendrite method for cluster analysis, *Commun. Stat.*, 3, pp. 1-27.
- Forrest, J., Clark, N.R. (1989) : Characterizing grain size distribution: evaluation of a new approach using a multivariate extension of entropy analysis, *Sedimentology*, 36, pp. 711-722.
- Forrest, J., Johnston, R.J. (1981) : On the characterization of urban sub-areas according to age structure, *Urban Geography*, 2 (1), pp. 31-40.
- Michaelsen, P., McIntyre, C.M., Amjad, N. (1998) : Controls upon inner-shelf sedimentation, Cape York Peninsula, in the region of 12S, *Australia Journal of Earth Sciences*, 45, pp. 611-621.
- Mikkelsen, O.A., Curran, K.J., Hill, P.S., Milligan, T.G. (2007) : Entropy analysis of in situ particle size spectra, *Estuary, Coastal and Shelf Science*, 72 (4), pp. 615-625.
- Okada, T., Lacombe, P. and Mason, C. (2009) : Estimation of the spatial distribution of dredged material disposed of at sea by using particle-size distributions and metal concentrations, *Marine Pollution Bulletin*, 58, pp. 1164-1177.
- Orpin, A.R., Kostylev, V.E. (2006) : Towards a statistically valid method of textural sea floor characterization of benthic habitats, *Marine Geology*, 225, pp. 209-222.

- Shannon, C.E. (1963) : The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Woolfe, K.J., Michibayashi, K. (1995) : Basic entropy grouping of laser-derived grain-size data: an example from the great barrier reef, *Computers and geosciences*, 21 (4), pp. 447-462.
- Woolfe, K.J. (1995) : Textural entropy groupings from a modern lake-lagoon system and its ancient analogue, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 38, pp. 256-262.
- Woolfe, K.J., Larcombe, P., Orpin, A.R., Purdon, R.G., Michaelsen, P., McIntyre, C.M., Amjad, N. (1998) : Controls upon inner-shelf sedimentation, Cape York Peninsula, in the region of 12S, *Australia Journal of Earth Sciences*, 45, pp. 611-621.
- Woolfe, K.J., Larcombe, P., Stewart, L.K. (2000) : Shelf sediments adjacent to the Herbert River delta, Great Barrier Reef, Australia, *Australia Journal of Earth Sciences*, 47, pp. 301-308.

付録A エントロピー法によるグループ化(2グループから4グループの場合)

本文では、24地点の粒度分布を6グループにした場合と7グループにした場合の各グループの平均粒度分布(図-4)とその空間分布(図-5, 6)を示した。ここでは、2グループから4グループの場合を示す(図-A.1, A.2, A.3, A.4, A.5)。図-A.1において、上から2グループの場合、3グループの場合、4グループの場合、5グループの場合に並んでいる。横方向の並びに間隔が空いているのは、縦方向に見た場合に見た場合に、すなわちグループ数の違いで見た場合に類似したグループを揃えたためである。

2グループでは、卓越する粒径が200 - 300 μmで、粒度分布の拡がり比較的小さいg₂とそれ以外の粒度分布が集約されたg₁にグループ化された(図-A.1)。g₂の標準偏差が小さいのに対して、g₁の標準偏差が大きいことから、g₂は類似した形状の粒度分布の集まりであるのに対して、g₁はかなり異なる形状の粒度分布が集約されていると判断できる。

3グループ以降では、g₂は維持され、g₁が細分化された。

空間的には、g₂は釜ヶ沢沖(図-A.2)に位置した。釜ヶ沢沖における採泥地点数が他の水域と較べて多かったこと、この水域の粒度分布が比較的一様だったこと、およびその粒度分布が他と較べて特徴的であったことが、このようなグループ化の変遷になった要因である

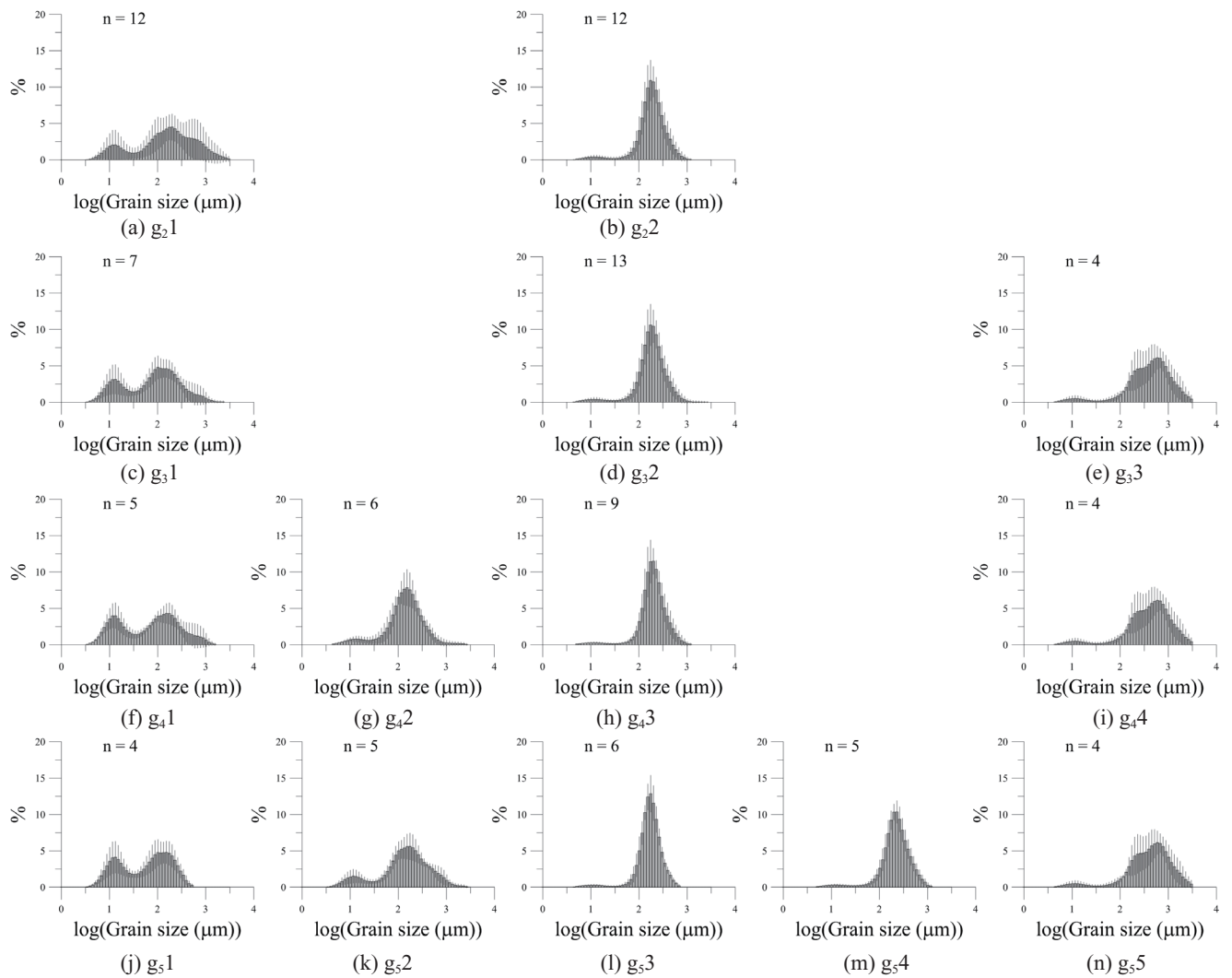


図-A.1 2グループ(aからb)、3グループ(cからe)、4グループ(fからi)および5グループ(jからn)の各グループの平均粒度分布。縦バーは各フラクションの土標準偏差を示す。

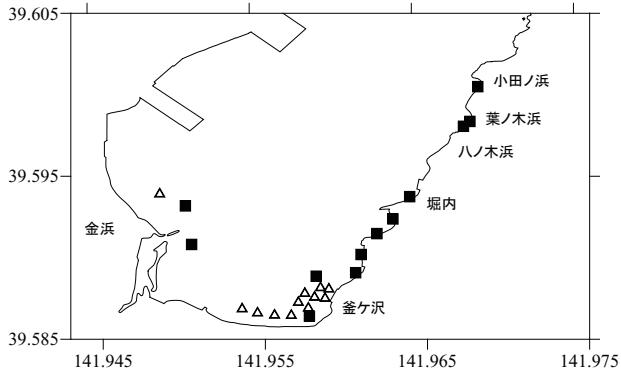


図 -A. 2 2 グループの空間分布 (■ : g_{21} , ▲ : g_{22})

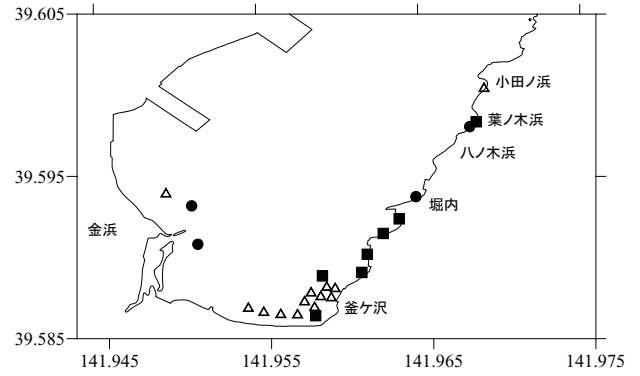


図 -A. 3 3 グループの空間分布 (■ : g_{31} , ▲ : g_{32} , ● : g_{33})

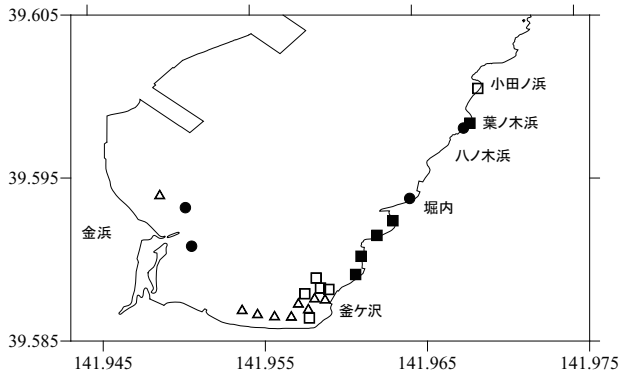


図 -A. 4 4 グループの空間分布 (■ : g_{41} , □ : g_{42} , ▲ : g_{43} , ● : g_{44})

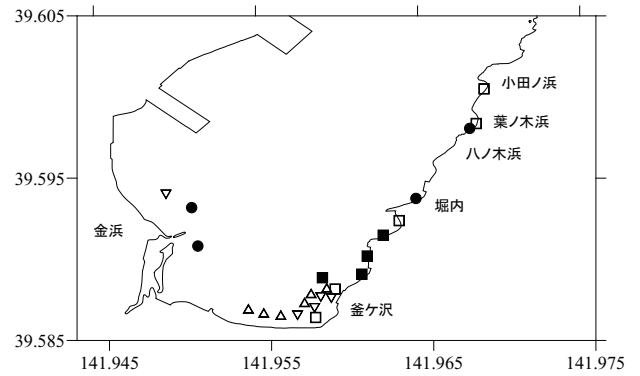


図 -A. 5 5 グループの空間分布 (■ : g_{51} , □ : g_{52} , ▲ : g_{53} , ▼ : g_{54} , ● : g_{55})

と考えられる。

空間的なグループ化の変遷をみると、グループ数の増加に伴い、小田ノ浜から釜ヶ沢間が徐々に細分化された(図 -A. 3, A. 4)。5グループになると、釜ヶ沢沖も更に細分化された(図 -A. 5)。

6グループ以降は本文に示すとおりである。

付録B 水温，塩分，濁度，光量子の鉛直断面分布

調査は2012年2月13日に実施した。図-B.1に示す地点において，多項目水質計(AAQ127, JFEアドバンテック社製)を用いて，水温，塩分，濁度，光量子を表層から底面まで10cm間隔で測定した。図-B.1中の測線L1, L2およびL3の鉛直断面図を図-B.2, B.3, B.4に示す。

(1) L1：湾口から湾奥の鉛直断面

水温は表層で5℃，水深10m以深で6℃だった。塩分は湾口から湾奥にかけて表層で32.5-33程度だった。

湾口から塩分33.5の水塊が侵入しており，33.5湾口から湾奥では，水深5m以深で33.5であったが，湾奥には33.5の水塊は達していなかった。

濁度は，湾口では1FTU以下だったが，湾奥では2FTU以上だった。湾奥の方が湾奥に比べて高い値であるが，値はそれほど高い値ではない。この湾奥において濁度の高い要因は，前日の荒天による底泥の巻き上げによるものと考えている。調査船の船長によると，冬季は，季節風が吹くと濁ることがしばしばあるとのことであった。

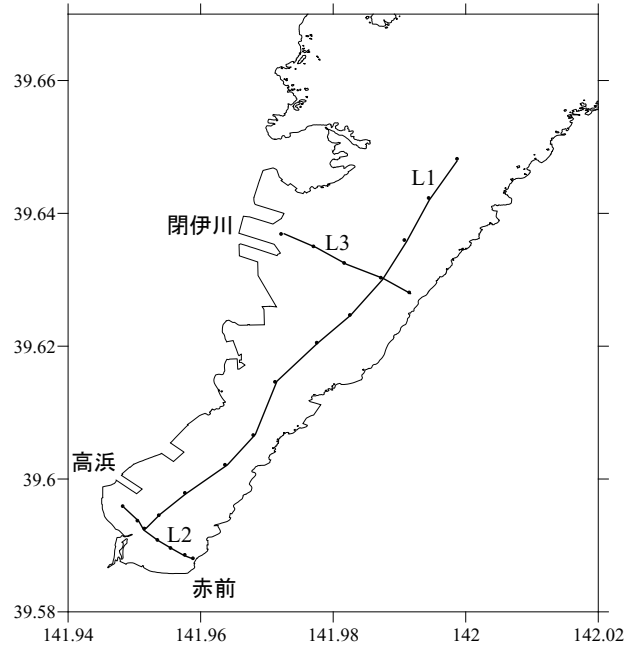
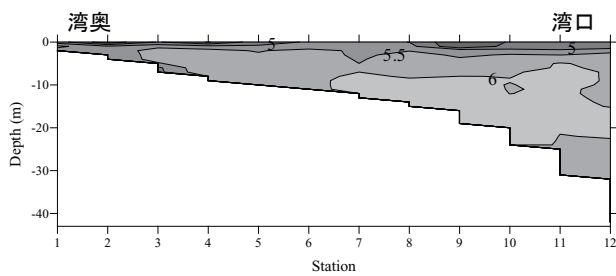


図-B.1 調査地点および縦断面図の測線

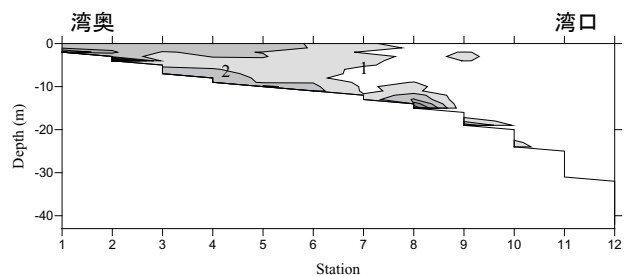
(2) L2：高浜から赤前の鉛直断面

高浜側の水温は4℃，赤前側の水温は5-5.5℃だった。相対的に赤前側の方が高かった。

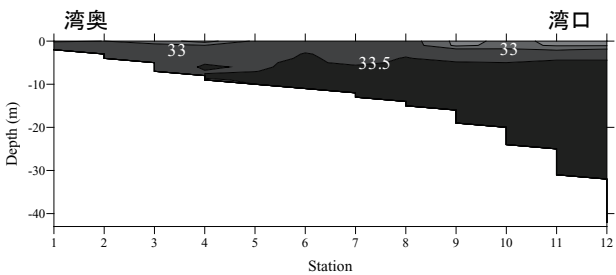
表層塩分は，赤前側に32以下の水塊が存在し，赤前



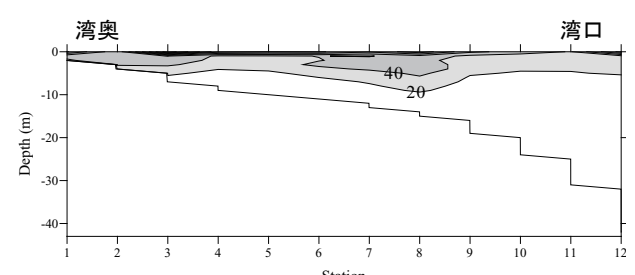
(a)



(c)



(b)



(d)

図-B.2 L1における(a)水温(℃)，(b)塩分，(c)濁度(FTU)および(d)光量子(μmol/s/m²)の縦断面図

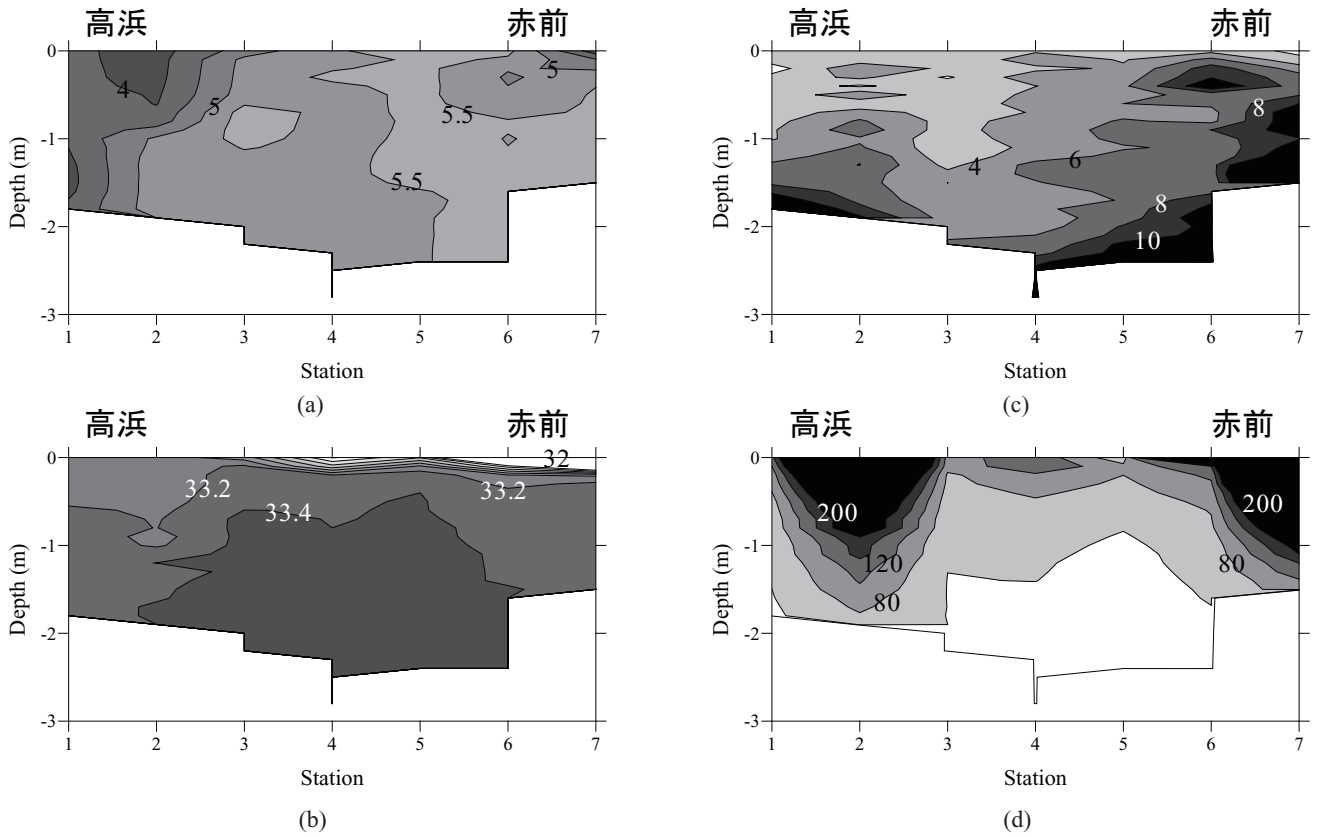


図-B.3 L2における(a)水温(°C), (b)塩分, (c)濁度(FTU)および(d)光量子($\mu\text{mol/s/m}^2$)の縦断面図

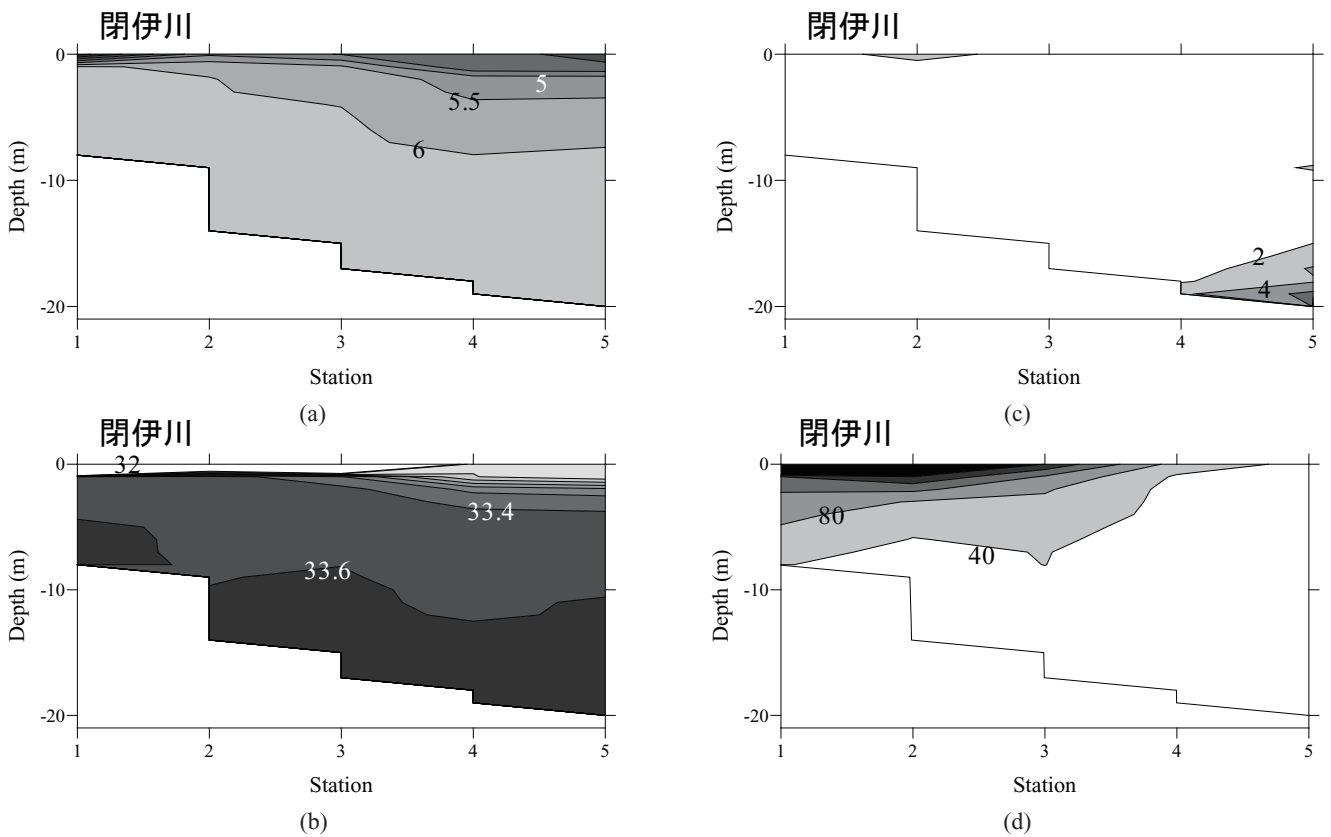


図-B.4 L3における(a)水温(°C), (b)塩分, (c)濁度(FTU)および(d)光量子($\mu\text{mol/s/m}^2$)の縦断面図

側の方が相対的に低かった。成層の強さから、淡水供給の影響だと考えられる。

濁度は、赤前側の方が高かった。特に、赤前側の底層には 20 cm 程度に渡って濁層 10 FTU 以上の層があった。

光量子は、両沿岸で高い値だったが、この要因は不明である。水深が 2 m 程度しかないので、太陽光、調査船およびセンサーの位置関係の影響を強く反映して

いる可能性がある。

(3) L3：閉伊川河口沖の鉛直断面

水温および塩分ともに河口において、水深 1 m 付近に強い躍層があった。躍層の上の表層では、水温は 4℃ 程度、塩分は 32 以下だった。

濁度は低く、光量子は高かった。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 688

June 2012

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019