

資料

急速に発達した低気圧が 山形県沖底びき網漁場へ及ぼす影響

忠鉢孝明*1a・鈴木裕之*1・石向修一*1,2・平野 央*1・
井口雅陽*3・木暮陽一*4b・森本晴之*4b・千手智晴*5

Influence of rapidly developed low pressure on trawl-fishing ground off the coast of
Yamagata Prefecture

Takaaki CHUBACHI, Hiroyuki SUZUKI, Shyuichi ISHIKO, Hisashi HIRANO, Masaharu IGUCHI,
Yoichi KOGURE, Haruyuki MORIMOTO and Tomoharu SENJYU

Following the passage of a well-developed low-pressure system during 3–4 April 2012, muddy sediments increased on the seabed off the coast of Yamagata Prefecture, which significantly reduced trawl-net catches in the water. We analyzed the sediment samples and determined their origins using isotopic ratios as well as analyzed information on the fishing and oceanographic conditions there. We found that the sediments originated from both terrestrial organic matter and marine zooplankton. It is presumed that turbid waters originating from rivers and coastal sediments were resuspended, transported offshore, and accumulated there, phytoplankton then grew using the sediments as nutrient salts, zooplankton then grew by feeding on the phytoplankton and were deposited on the seabed following their death, negatively affecting fishery operations conducted in the water. It is also likely that a temporary increase in water temperature on the offshore seabed and environmental deterioration caused by the degradation of sediments reduced numbers of demersal and other fishes.

キーワード：低気圧, 底質, 底びき網漁業

2020年12月4日受付 2021年11月17日受理

北部日本海に位置する山形県沖の海域には、沿岸側に対馬暖流の第1分枝、沖合側に第2分枝の存在することが知られており(石川ら2007)、その強弱や流路の変動によって魚類の回遊経路や漁場が変動している(加賀山

2006)。海底地形を示す等深線は沿岸から30km沖まで海岸線とほぼ平行してなだらかに並んでいる(図1)。底生魚類は水深帯別に魚種毎の漁場が形成される場合が多く、漁業者は対象となる魚種について季節毎に水深を

*1 山形県水産試験場

〒997-1204 山形県鶴岡市加茂字大崩 594

Yamagata Prefecture Fisheries Experiment Station, 594 Okuzure, Kamo, Tsuruoka, Yamagata 997-1204, Japan
chubachit@pref.yamagata.jp

*2 故人

*3 山形県庄内総合支庁産業経済部水産振興課

*4 独立行政法人水産総合研究センター日本海区水産研究所

*5 九州大学応用力学研究所

*a 現所属：山形県庄内総合支庁産業経済部水産振興課

*b 現所属：国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所

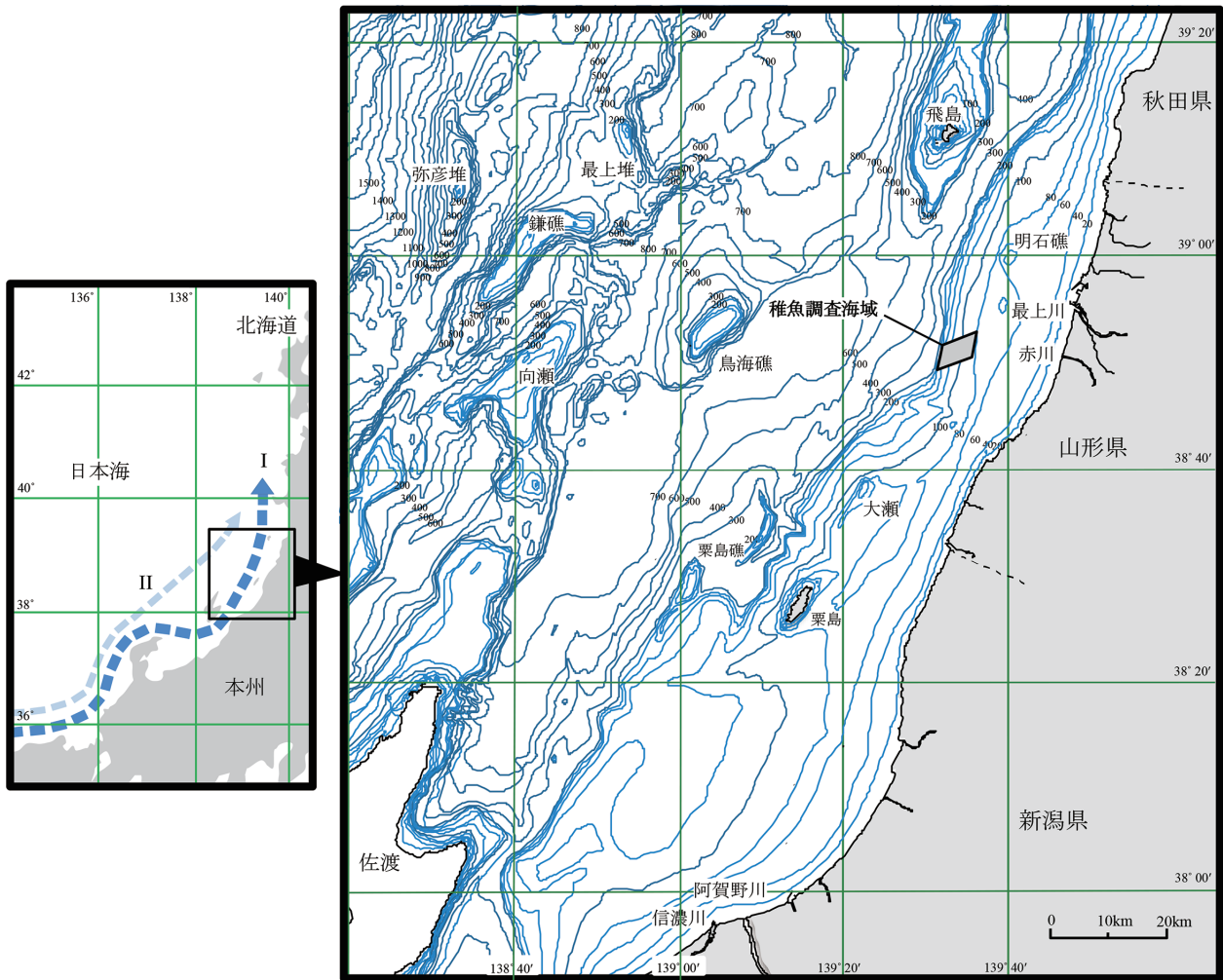


図1. 山形県周辺の海域

I, IIは対馬暖流第一分枝、第二分枝を示す
対馬暖流は石川ら（2007）から作図

指標として操業を行っており、当該海域のなだらかな海底地形は、特に底びき網漁業の操業が容易な好漁場となっている。沿岸での漁業は、底びき網、ごち網、はえなわ、さし網、定置網が主体である。底びき網漁業では、禁漁の7、8月を除き、主に沿岸10～30km沖合、水深150～300m付近で操業が行われ、ホッケ *Pleurogrammus azonus*、マダラ *Gadus macrocephalus*、スケトウダラ *Gadus chalcogrammus*、ズワイガニ *Chionoecetes opilio*、ハタハタ *Arctoscopus japonicus*、キアッコウ *Lophius litulon*、タイ類、カレイ類などが漁獲対象となっている。海域への主要流入河川は最上川や赤川である。また、新潟県から流入する信濃川、阿賀野川等の河川水が山形県沖の海域に影響を与える場合もある。

本海域では春の融雪期において、海底に泥やヘドロ状の物質が堆積し、漁業に被害が生じることがあり、2006年には底びき網の目詰まりが例年より顕著で長引いたとの報告がある（須貝ら2006）。これは、融雪時の河川や海水の鉛直混合により栄養塩が供給され、それを利用し

て増殖したプランクトンが枯死、堆積したことが一因と考えられている（黒田ら2000、須貝ら2006）。2012年の4月中旬から5月上旬において、最上川では過去4年間（2008～2011）の平均値と比較して約2倍の流量となる融雪河川増水がみられた（国土交通省水文水質データベース2017）。また、同年4月3～4日に急速に発達した低気圧が日本海を東進し、これまでにない暴風波浪が観測された（気象研究所2012、山形地方気象台2012、森ら2013）（図2）。この低気圧の通過により、鶴岡市米子や酒田市飛鳥など漁港防波堤が破損するという大きな被害が発生するとともに、特に底びき網漁業で、漁網に泥が混入するなど大きな漁業障害が生じ、漁獲量が顕著に減少した。底びき網漁業の漁業者からは「泥で網が曳けない」「魚がない」「死んだ魚が網にかかる」「長く漁師をやっているが、はじめての現象だ」などの声が大きく上がった。そこで、本研究では、海底の堆積物の性状を調べ、漁海況に関する情報から、漁業被害の原因とそのメカニズムを考察した。

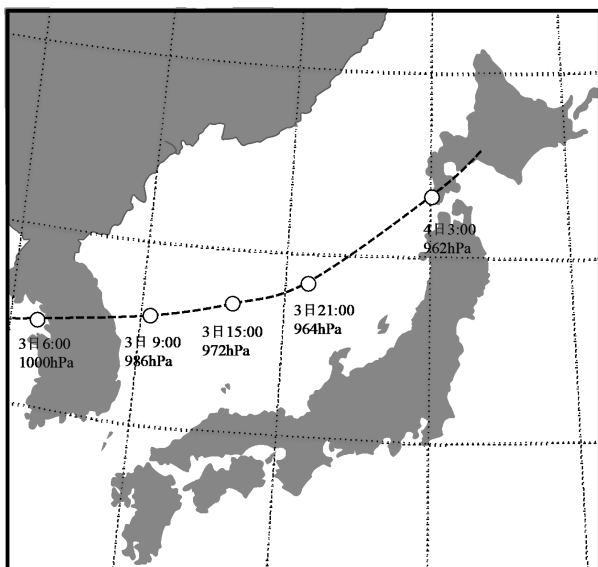


図2. 2012年4月3・4日に日本海を通過した低気圧の進路
気象研究所 (2012) から作成

方法

2012年に生じた山形県沖合における泥の堆積に伴う底びき漁業被害の発生原因を探るため、河川流量、気象・海象観測データについて2012年春季の特徴を整理した。また、2012年の沖合漁場における堆積物の起源を推定するため、その性状を調べ、安定同位体を測定した。さらに、2012年の漁獲量、漁獲種、当歳魚出現数について、過去5年と比較して、その特徴を整理した。

最上川の河川流量について、2008～2012年の3月上旬から5月中旬の旬別および同年3月28日～4月10日の日別の流量を、国土交通省水文水質データベース(2017)から入手した。山形県沿岸の波高について、国土交通省酒田波高計(水深50m)の資料(国土交通省港湾局ナウファス2017)から、酒田市の風向・気圧・風速については、過去の気象データ(気象庁2017)から、また潮位については国土交通省東北地方整備局酒田港湾事務所が所蔵する潮位・気象観測表(観測地点:酒田港酒田験潮所)からそれぞれ入手した。

低気圧接近当時の底層水温について、2011年7月～2012年6月の間、日本海区水産研究所が実施するズワイガニ漁場一斉調査のため、鼠ヶ関沖水深300m前後の海底のかにかごに付設した水温ロガー(オンセットHobo Tidbit)のデータを使用した(図3)。

海底堆積物について、山形県水産試験場の漁業調査船最上丸により、2012年4月25日、5月1日、5月28・29日、6月12日、7月17日および8月1・7日に、山形県沖合の底びき網漁場である県南北の沿岸から2.5、5、10、15海里沖に定点と補間点(図3)をそれぞれ設け、スミスマツキンタイヤー型採泥器を用いて、海底表面から採取した。得られた約10cm厚の堆積物については海底の堆積層厚

を正確に示してはいないと考えるが、採取された状態で層状を形成していたため、有機物を多く含む沈殿物として浮泥および軟泥の厚さの指標として計測した。採集物の表面が礫と砂礫であった場合を除き、表面部分をスプーンで掬い取った堆積物サンプルを冷蔵保存した。その後、実験室において生物顕微鏡(オリンパスBH2)下(×100)で1視野当たり3.8mm²の面積について5視野程度の観察により、サンプル中の植物プランクトンの枯死細胞数を計数し、泥の組成物を調べた。なお、浮泥、軟泥の判別は採泥器の採集物にスチールコンベックスを差し込む簡易的な測定法で行った。流動性の強い浮泥層厚はコンベックスの自重に相当する負荷(65g/cm²)、それより粘度の高い軟泥層厚は重りを用いた負荷(200g/cm²)をコンベックスにかけ、それぞれ貫入が止まる長さを用い各層厚の測定値とした。また、スチールコンベックスが差し込めない硬く締まった泥、礫、砂礫については層厚を測定していないため、採集物の表面部分で肉眼により砂の粒子が確認できるものを砂礫、泥と混じった状態のものを砂礫・泥として記録した。さらに、5月28・29日に採取し、冷凍保存した堆積物の一部(浮泥のみ)について、その由来を調べるため、質量分析計(フィニガンMAT252)を用いて安定同位体比の分析を行った。

山形県の漁獲量については、山形県水産試験場が発行した2007～2012年の漁海況情報を用いた。また、沿岸の水深80～180mの海域で2007～2012年に実施した稚魚の採集調査の結果は、工藤ら(2014)から引用した。

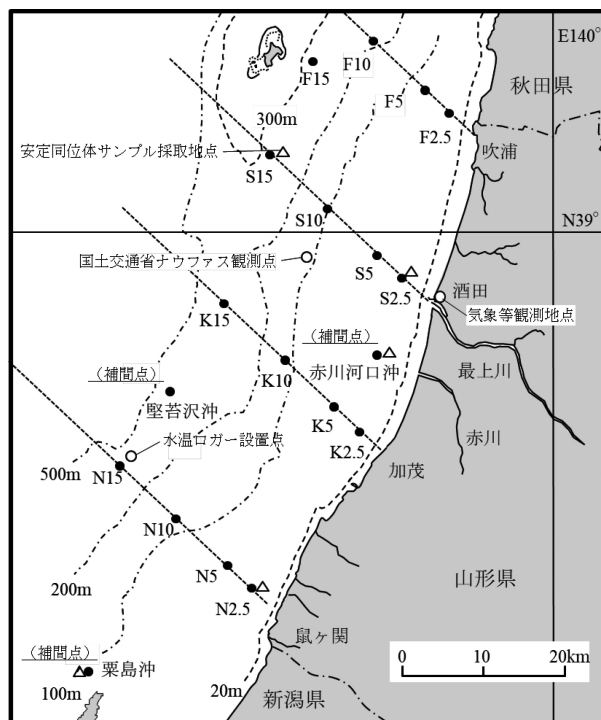


図3. 調査地点

F:吹浦沖, S:酒田沖, K:加茂沖, N:鼠ヶ関沖; 2.5, 5, 10, 15は沿岸からの距離(海里)を示す

結果

河川流量 2008～2012年の融雪期(3月上旬～5月中旬)の最上川流量では、4月上旬から5月上旬において、2012年が、過去4年間の値と比較して最も多かった。また、2012年は他年と比較して降水量が多く、4月3日もしくは4月4日に最上川沿いの酒田、狩川、村山、長井の観測値において、それぞれ27.5、25.5、13、19.5mmの降水量が記録されており、河川流量は4月4日に著しく増加し、1,800t/secに達している(図4)。

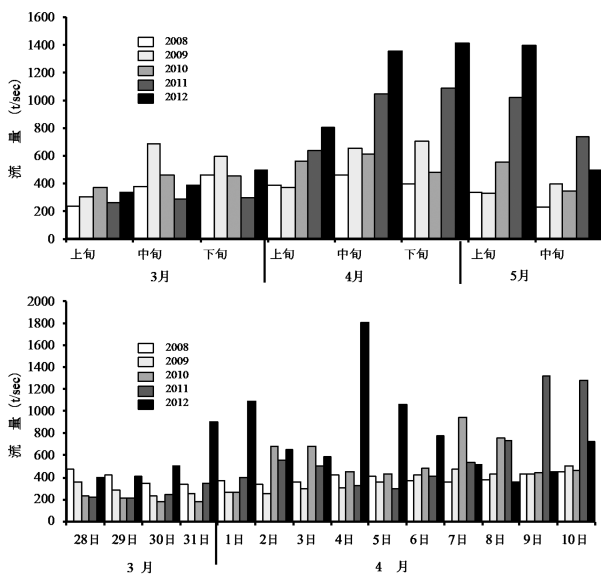


図4. 2008～2012年の融雪期(3月上旬～5月中旬)における月別(日平均)および日別(3月28～4月10日)の最上川流量

国土交通省水文水質データベースから図を作成

低気圧の通過と海況変化 2012年4月2日に華北で発生した低気圧は、その後急速に発達しながら北東に移動し、3日21時に能登半島沖付近で964hPaに達し、4日3時には北海道渡島半島付近で962hPaとなった(図2)。山形県の沿岸地区に最接近したのは、4月4日0時頃であり、気圧も985hPaに達していた(図5)。山形県沖の波高は、4月4日4時に最大有義波高11.22m、周期15.2secを記録した(国土交通省港湾局ナウファス2017)。酒田において、3日18時に風向が南東から西南西に大きく変化し、3日20時から4日1時まで沿岸に沿って吹く南西の風となった(図5)。また、風速は4日0～2時に最も強く、酒田と飛島の最大瞬間風速(平均風速)はそれぞれ41.4m/s(23.6m/s)、51.1m/s(39.0m/s)を観測した。その際、酒田港の潮位は1m以上の急激な上昇がみられた。沖合の海底では4日午前1時から海水温が6℃前後から9℃前後まで急激に上昇する変化が認められた(図5)。

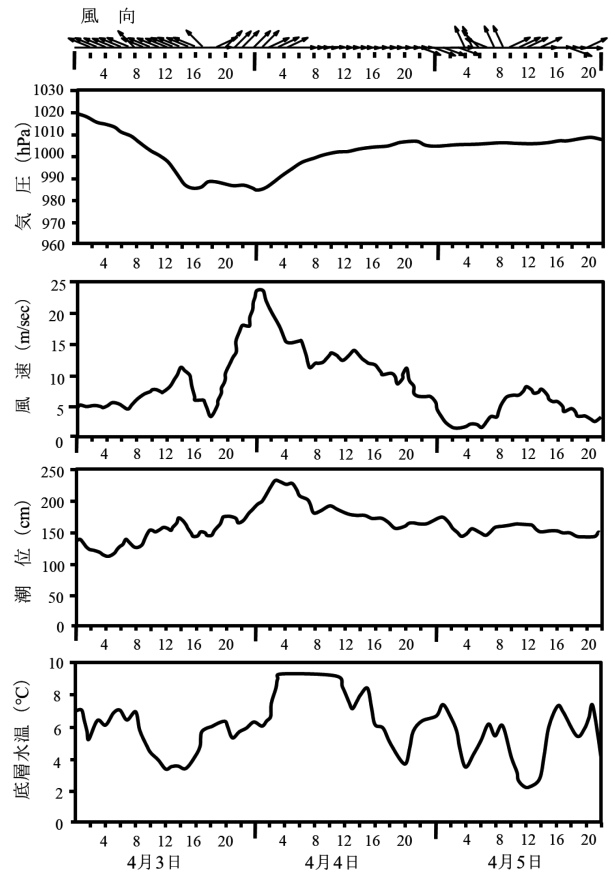


図5. 2012年4月3日から4月5日の低気圧の通過に伴う山形県酒田市の気象データ(風向, 気圧, 風速), 山形県沖の潮位および底層水温の変化

気象データは気象庁による酒田市の観測地点、潮位は国土交通省港湾局による山形県沖の観測地点、底層水温は鼠ヶ関沖(27.8km)海底設置ロガーによるものである。風向は風の吹き去る方向を矢印で明示

海底堆積物の変化

1. 4月25日・5月1日 流動性のある浮泥層が、県の南北の水深200m以深で厚く堆積しており(図6)、県南部の水深300m域(N15)で最も厚い浮泥層の堆積が認められた。有機物の腐敗による黒化部分が確認され、硫化水素臭も認められた。酒田沖27.8kmの地点(S15)では浮泥層は少なく、軟泥層が厚く堆積していた。顕微鏡下では、微小な泥粒子の凝集塊が観察され、植物プランクトンの枯死細胞は散見される程度であった。

2. 5月28・29日 新潟県境に近い鼠ヶ関沖(N5)に厚みのある浮泥層が確認できた。調査5地点のうち、初回の調査時と比較して、2地点(S15, N5)で浮泥層の厚さが増加しており、2地点(S2.5, N5)で軟泥層が増加、1地点(赤川河口沖)では大きな変化はみられなかった。また、参考のため調査した粟島沖でも浮泥層と軟泥層の堆積があり酒田沖(S15)の地点と同程度であった。顕

微鏡による観察では、4月25日、5月1日の観測と比較して、植物プランクトンの枯死細胞が15～25倍多く堆積物に含まれていた。

3. 6月12日 調査4地点のうち、前回と比較して、S2.5地点では変化がなかったが、N5地点では軟泥層が若干減少し、N10地点では軟泥層は採取されなかった。N15地点では、5月1日の調査時より浮泥層が薄く、厚い軟泥層の堆積物が採取された。

4. 7月17日 調査9地点のうち、5地点（S15、赤川

河口沖、N2.5、N5、N15）で泥層厚の減少がみられ、うち2地点（赤川河口沖、N2.5）では砂礫のみが採取された。また、泥層厚は大きく変わらないものの、浮泥層が減少した2地点（S2.5、S10）と泥層厚が増加した地点（N10）もあったが、硫化水素臭は全ての地点で認められなかった（図6）。顕微鏡による観察では、植物プランクトンの枯死細胞は、3～4視野に1個程度であった。

5. 8月1・7日 調査9地点のうち、1地点（N15）を除き、5地点（S2.5、S10、S15、N5、N10）で浮泥層は採取されず、同5地点の軟泥層についても減少がみられた。

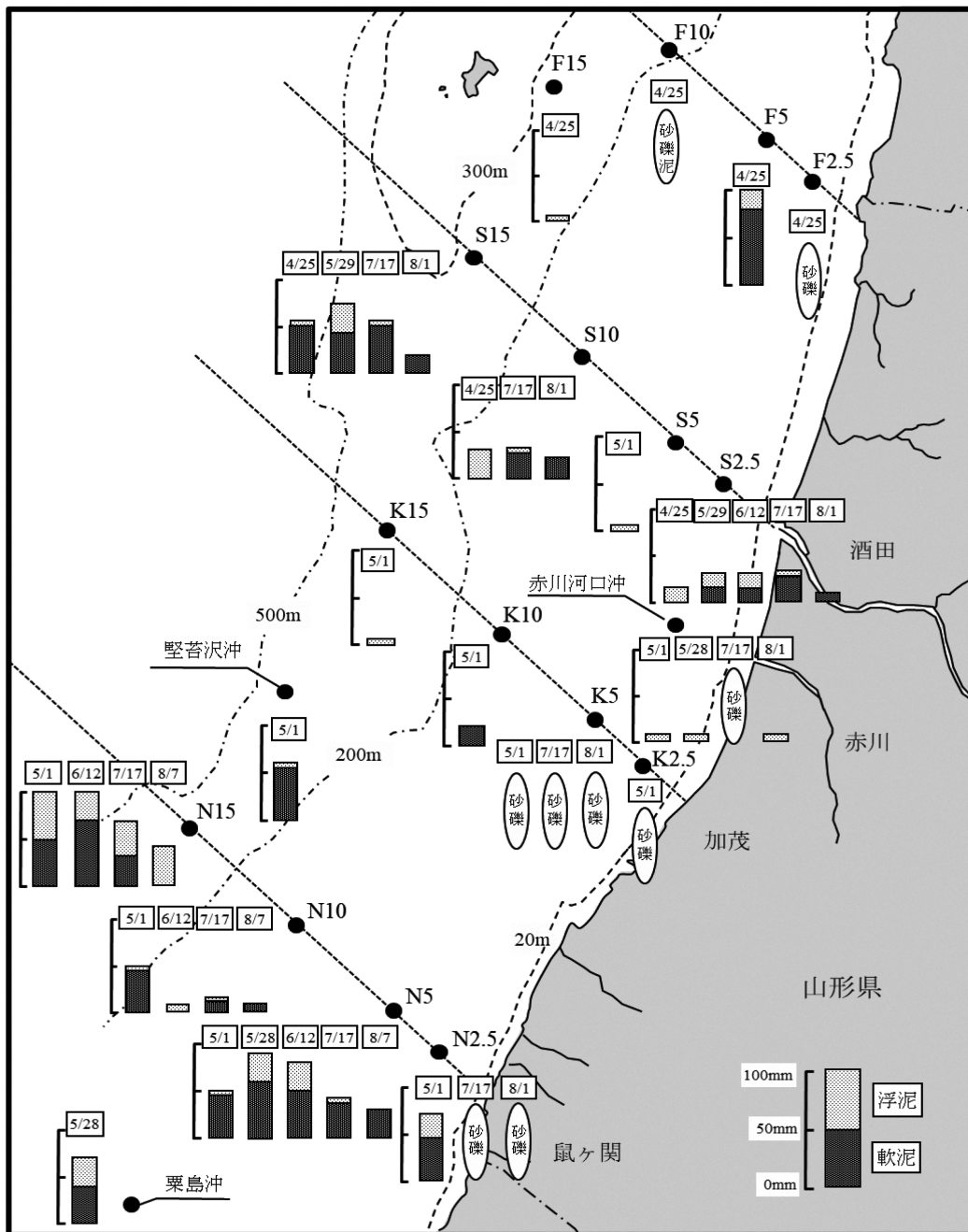


図6. 海底堆積物の組成変化

安定同位体比 本研究で採取した堆積物の炭素安定同位体比は -24.4 ~ -22.5‰, 窒素安定同位体比は 2.1 ~ 5.6‰ の範囲であった (図 7)。

漁獲量 2012 年 4 ~ 5 月の出漁 1 回当たりの漁獲量を過去 5 年間 (2007 ~ 2011) の平均値と比較すると, さし網, はえなわの各漁業種類で大きな減少はみられな

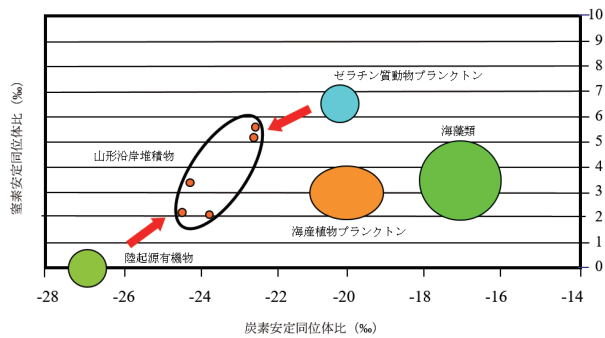


図 7. 2012 年 5 月 28・29 日に採取された海底堆積物の安定同位体比の分布

陸起源有機物, 動物植物プランクトン, 海藻類のデータは, 木暮 (2004, 2008, 2018) による

かったものの, 底びき網では 66% 以下と大きく減少した (表 1)。一方, 6 月では, 底びき網とともに, はえなわでも出漁 1 回当たりの漁獲量が 63% と大きく減少した。2012 年の魚種別の漁獲量の推移を見ると, キアンコウ, タコ類, カレイ類, ホッコクアカエビ *Pandalus* をはじめとする底生性の魚種の 4 月の漁獲量が過去 5 年平均の 18 ~ 58% と著しく減少した (表 2)。一方, 稚魚の発生量はハタハタなどで例年になく多い傾向がみられた (表 3)。

考察

2012 年は日本海側の北部地域で積雪量が多く, 同年 4 月上旬 ~ 5 月上旬の間, 最上川の流量も例年と比較して多い状況であった。2012 年 4 月 4 日の低気圧の通過は多量の降雨を最上川流域にもたらした。最上川の雪解け出水の調査では, 濁度は流量の 1.44 乗に比例するとの報告があり (真野ら 1997), 2012 年 4 月の融雪および降雨に伴う河川水の増水により, 多量の懸濁物が河口から海域に流入したと推察される。これら濁水は, 海域に達した後, 粒子の大きなものは河口近傍で沈降し, 沖合には細

表 1. 2012 年 3 ~ 7 月期における山形県各漁業種類の月別出漁隻数および漁獲量

月		3月	4月	5月	6月	7月
底引き網	出漁数 隻	367 (97%)	273 (61%)	411 (92%)	441 (77%)	
	総漁獲量 トン	164 (93%)	65 (41%)	92 (60%)	133 (51%)	禁漁
	漁獲量/回/隻 トン	0.45 (95%)	0.24 (66%)	0.22 (65%)	0.30 (66%)	
さし網	出漁数 隻	267 (51%)	632 (59%)	1095 (89%)	648 (64%)	531 (62%)
	総漁獲量 トン	13 (73%)	31 (81%)	37 (85%)	15 (56%)	8 (43%)
	漁獲量/回/隻 トン	0.05 (141%)	0.05 (135%)	0.03 (94%)	0.02 (87%)	0.02 (68%)
はえなわ	出漁数 隻	329 (92%)	448 (83%)	550 (98%)	455 (70%)	435 (90%)
	総漁獲量 トン	18.4 (107%)	30 (103%)	37 (140%)	19 (44%)	23 (89%)
	漁獲量/回/隻 トン	0.06 (114%)	0.07 (122%)	0.07 (140%)	0.04 (63%)	0.05 (99%)
ごち網	出漁数 隻				11 (65%)	168 (99%)
	総漁獲量 トン	禁漁	禁漁	禁漁	1 (33%)	39 (128%)
	漁獲量/回/隻 トン				0.01 (54%)	0.23 (127%)

() 内の数字は過去 5 年平均値との比較

表 2. 2012 年 3 ~ 6 月期に山形県底びき網漁業で漁獲された魚種別漁獲量 (t)

	3月	4月	5月	6月
タイ類	3,812 (101%)	4,459 (52%)	18,747 (70%)	14,795 (183%)
ヒラメ	2,876 (74%)	1,087 (30%)	1,208 (55%)	5,681 (139%)
カレイ類	10,123 (108%)	9,185 (58%)	16,107 (88%)	39,710 (136%)
キアンコウ	14,552 (148%)	4,362 (35%)	6,344 (77%)	4,427 (73%)
ウマヅラハギ	118 (6%)	7,381 (144%)	6,858 (85%)	3,873 (89%)
ハタハタ	48,846 (66%)	8,875 (19%)	5,319 (15%)	8,474 (42%)
ホッケ	- (-)	22 (1%)	210 (4%)	4,826 (4%)
ズワイガニ	3,190 (81%)	4,845 (171%)	1,081 (-)	- (-)
タコ類	1,138 (67%)	1,109 (37%)	702 (54%)	2,252 (116%)
ホッコクアカエビ	9,502 (68%)	2,969 (18%)	12,252 (70%)	15,762 (85%)

() 内の数字は過去 5 年平均値との比較

表 3. 年別魚種別稚魚の採集尾数 (尾)

魚種	2007	2008	2009	2010	2011	2012	平年比※
ハタハタ <i>Arctoscopus japonicus</i>	1	403	29	401	675	3283	1088%
マダラ <i>Gadus macrocephalus</i>	0	51	29	40	25	65	224%
キアンコウ <i>Lophius litulon</i>	91	333	113	24	21	82	70%
マガレイ <i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	79	734	401	211	230	787	238%
ヤナギムシガレイ <i>Tanakius kitaharai</i>	9	66	230	140	29	21	23%
アカムツ <i>Doederleinia berycoides</i>	133	4	7	0	5	4	13%

※ 2012年の値を平年値 (2007年から2011年の平均値) と比較

かい粒子が海底に堆積すると考えられる。一方、海域に流入した懸濁物は海底に堆積後、潮流などにより再懸濁することも知られており (山口ら 2009)、一時的に沿岸域に堆積した懸濁物は、強い流れにより再懸濁・輸送される可能性もある。

発達した低気圧が山形県沖合を通過した際に、南西の強風が連吹するとともに、酒田の潮位が上昇し、少し遅れて鼠ヶ関沖の底層水温が上昇するという現象が観測された (図 5)。このことは、南西風によって生じた岸向きのエクマン輸送により沖合の暖水が沿岸部に輸送され、沿岸域で水塊として発達することで水深 300m の海底付近まで暖水の水塊に入れ替わったことを示唆している。沿岸水位の上昇は岸沖方向の圧力勾配を生ずるため、低気圧の通過直後には、これにバランスするような岸を右手にみる強流 (沿岸ジェット) が生じていたと推測される (大慶ら 2009, 千手・大慶 2014)。強流の影響は底層付近 (300m 深) にまで及んでいたと推測されることから、海底付近では海底摩擦により大きな底面せん断応力が生じ、それが底層堆積物を巻き上げた可能性が考えられる。

福島県いわき沖海域では、発達した低気圧の通過など顕著な気象擾乱時に、水深 80m 帯でも底面せん断応力の増大による底質濁度の上昇が報告されている (八木ら 2015)。また、数値モデルによる研究によると、福島県新田川河口周辺の海域では、発達性低気圧接近時の出水時に、沖合約 10km に至るまでの広い領域において、非常に強い底面せん断応力が生じ、再懸濁が生じるが、沖合 15~25km ではせん断応力が発達しないため、河川からの細粒土砂などが堆積しやすい構造であると解釈されている (内山ら 2014, 山西ら 2016)。さらに福島沖のケースでは、低気圧通過後の風向変化にともない岸向きエクマン輸送が沖向きに変化し、十分時間が経過した後は土砂は主に表層に集中した形で沖方向へと輸送されると考えられており (山西ら 2016)、福島県沖合の水深 200~400m における沖向きの懸濁質粒子の通過フラックスは、低気圧通過によるものがほとんどであると推定されている (内山 2017)。また、オホーツクで観測された底層高濁度水は、湧昇域で海底から巻き上げられた堆積物が沖に向かう弱い流れによって輸送された可能性が報告

されている (和高ら 2009)。

本研究対象海域の海底の堆積物は沿岸よりも沖合で浮泥、軟泥が多量に堆積しており、福島での報告と同様に低気圧通過により、懸濁物や堆積物が再懸濁するとともに、沖合に輸送され堆積したと考えられる。その結果、底びき網の目詰まりを起こすなど操業に支障をきたしたと推測される。

沿岸域に供給された河川由来の豊富な栄養塩は流入初期の段階から速やかに植物プランクトンによって消費されていると考えられており (長田 1994)、本研究対象海域の海産動物プランクトンの増殖に大きな役割を果たしたと考えられる。2012年4月の調査で、海底の堆積物は、沿岸域よりも沖合で多く見られ、その組成をみると軟泥層がほとんどであった。一方、5月では堆積量は同じかあるいは増加傾向を示すとともに、海産動物プランクトンなどの死骸を多く含む浮泥層が増加していた。これら、堆積物の由来については安定同位体比から、陸上を起源とする有機物と海産動物プランクトンを起源とするものが混合していることを示すデータが得られている。陸上を起源とする有機物については4月の増水による河川由来の有機物 (懸濁物) が考えられ、それらを栄養塩として増殖した植物プランクトンを捕食する海産動物プランクトンの増殖がもう一つの起源と考えられる。知多湾における海底堆積物の有機物起源の調査では、矢作川河口付近で陸上起源の有機物が多いものの、8km 以上沖合では炭素安定同位体比が -20.5~-20.1% と一定の値に収束し海産動物、植物プランクトン (-20%) に近い値を示している (三戸ら 2007)。しかしながら、本研究対象海域では、沖合約 28km で採取した堆積物においても -22.5% という値を示していることから、沖合でも陸上起源有機物の影響を受けていると考えられ、河口周辺の堆積物が沖合の海底に輸送された可能性も考えられる。

河川からの懸濁物および動植物プランクトン由来の物質を起源と考えられる海底堆積物は、底びき網の操業に甚大な障害をもたらした。堆積物中の有機物は、その後分解されるものの、酸素が消費され、海底付近は低酸素状態となり、一時的に底生生物の生息が難しくなる環境になる可能性がある。低気圧通過時の海底の一時的な水温上昇も合わせて考えると、沖合海底付近での水産動物

の生息環境が悪化し、底生魚類を主体とする漁獲量の減少の一因となったと考えられる。一方、2012年はハタハタ、マダラ、マガレイ *Pseudopleuronectes herzensteini* の稚魚数が過去5年より多く採取されている。これらと底質の環境変化との因果関係は現在のところ不明であるが、今後、稚魚の生息環境についてのデータの蓄積が必要である。

謝 辞

本調査を行うにあたり、様々な情報提供や現地調査にご協力頂いた2012年当時の五十嵐安哉山形県漁業協同組合長をはじめ同組合関係者、特に池田亀五郎山形県機船底曳網漁業協議会長をはじめ同協議会関係者の方々に深く感謝する。また、現地調査にあたって多大な尽力をいただいた漁業試験調査船最上丸の船長以下乗組員に対しても感謝する。なお、最後に、著者の一人である石向修一氏は病と闘いながら、本研究のデータ解析に多大な貢献を果たしたその努力に敬意を表し、ご冥福を祈るものである。

文 献

- 石川浩平・磯田 豊・相木智一 (2007) 沿岸水位からみた対馬暖流沿岸分枝流の季節変化. 海の研究, **16**, 223-236.
- 加賀山 祐 (2006) 山形県の栽培漁業の取り組み. 豊かな海, **8**, 3-7.
- 気象庁 (2017) 過去の気象データ検索. <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2017年1月25日.
- 気象研究所 (2012) 平成24年4月2～3日に急発達した低気圧について. 報道発表資料, 4p.
- 木暮陽一 (2004) 炭素・窒素安定同位体比による外海性浅海砂浜底の食物網構造の解析. 日本生物地理学会会報, **59**, 15-25.
- 木暮陽一 (2008) 新潟沿岸および知多湾産貝類の炭素・窒素安定同位体比分布様式の比較. 日本生物地理学会会報, **63**, 21-28.
- 木暮陽一 (2018) 炭素・窒素安定同位体比による日本海南部沿岸域における食物網構造の解析. 日本生物地理学会会報, **72**, 11-17.
- 国土交通省水文水質データベース (2017) <http://www1.river.go.jp/>, 2017年1月25日.
- 国土交通省港湾局ナウファス (2017) <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/Index.html>, 2017年1月25日.
- 工藤充弘・渡部光秋・池原 浩 (2014) 漁獲加入量予測モデル開発事業. 平成24年度山形県水産試験場事業報告, 3-7.
- 黒田一紀・森本晴之・井口直樹 (2000) 2000年の日本海におけるサルパ類とクラゲ類の大量出現. 水産海洋研究, **64**, 311-315.
- 真野 明・杉木基泰・前川勝朗 (1997) 最上川流域の雪融け出水に伴う懸濁物質の輸送. 水文・水資源学会誌, **10**, 407-415.
- 三戸勇吾・山田佳裕・山本敏哉・中島沙知・白金晶子・堤 裕昭・多田邦尚 (2007) 知多湾における堆積物中の有機物の起源. 日本水産学会誌, **73**, 1-7.
- 森 信人・高木友典・川口浩二・加島寛章・間瀬 肇・安田誠宏・島田広昭 (2013) 2012年4月3～4日に日本海で急発達した低気圧による暴波浪特性. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), **69**, 126-130.
- 長田 宏 (1994) 新潟沿岸域における河川水起源の栄養塩分布の季節変動. 水産海洋研究, **58**, 1-9.
- 大慶則之・奥野充一・千手智晴 (2009) 気象攪乱通過後に能登半島で観測された急潮 -2003年夏季の観察結果より-. 海の研究, **18**, 57-69.
- 千手智晴・大慶則之 (2014) 沿岸密度流としての日本海の急潮. 九州大学応用力学研究所所報, **146**, 115-122.
- 須貝憲明・大西健美・吉田 稔 (2006) 今春の下越海域の底質悪化について. 水海研だより (新潟県水産海洋研究所), **15**, 2-3.
- 内山雄介 (2017) マルチクラス懸濁質輸送モデルを用いた福島沿岸域における河川由来懸濁質および懸濁態放射性核種の海洋分散について. 沿岸海洋研究, **54**, 159-172.
- 内山雄介・山西琢文・津旨大輔・宮澤泰正 (2014) 福島沿岸域における放射性核種の海域移行定量化を目的とした領域土砂輸送モデルの開発. 土木学会論文集B2 (海岸工学), **70**, I_571-I_575.
- 和高牧子・松山優治・石津美穂・北出裕二郎・矢野泰隆 (2009) オホーツク海の宗谷暖流沖の底層に見られる高濁度水. 沿岸海洋研究, **46**, 175-183.
- 八木 宏・杉松宏一・小口哲史・川俣 茂・中山哲巖・磯崎由行 (2015) 常磐いわき沖海域における底面せん断力の特徴と底層濁質輸送について. 土木学会論文集B2 (海岸工学), **71**, I_391-I_396.
- 山形地方気象台 (2012) 急速に発達した低気圧の影響について【平成24年4月3日～4月4日】. 災害時気象資料 (速報値), 6p.
- 山口哲昭・安田秀一・鬼塚 剛・伊沢瑞夫・高島創太郎・湯浅豊年 (2009) 周防灘豊前海における潮流による再懸濁過程に関する観測. 水産大学校研究報告, **58**, 179-189.
- 山西琢文・内山雄介・岩崎理樹・清水康行・津旨大輔・三角和弘・恩田裕一 (2016) 出水イベントに伴う福島新田川河口周辺海域における懸濁態放射性核種の海洋分散について. 土木学会論文集B2 (海岸工学), **72**, I_757-I_762.