

重油漂着の海岸域への影響調査 Impact of Heavy Oil Deposition on Coastal Environment

加藤史訓・佐藤慎司
Fuminori Kato, Shinji Sato

Abstract

Field observation of the impact on the coastal environment caused by heavy oil deposition was conducted in Mikuni Town, Fukui Prefecture. Oil in seawater was detected intermittently. Oil in sand was detected even 140 cm in depth in sandy beach. The impact of oil deposition on macrobenthos on sandy beach and sessile creatures on rocky coast and gravel coast was not found in terms of its species and number.

Keywords: heavy oil spill, oil concentration, coastal environment

1. はじめに

1997年1月2日に島根県隠岐島沖で沈没したロシア船籍タンカー「ナホトカ」号から大量のC重油が流出し、山形県から島根県に到る日本海沿岸に漂着した。重油が漂着した海岸では、地方自治体や地元住民、ボランティア等により油の回収が行われたが、油の漂着及び残留の環境への影響が懸念されていた。そこで、漂着油の回収目標の設定など事故対策検討の基礎資料を得るため、漂着油が海岸域に及ぼす影響に関する調査を行った。

調査地は、ナホトカ号の船首漂着地点に近く、他機関の調査地と重ならない条件で選定した結果、船首漂着地点の東側約1.5kmの越前松島の岩礁、東側約2kmの丸岡藩砲台跡下の礫浜、東側約3kmの浜地海岸とした。浜地海岸は中央粒径が1～2mm程度の砂浜で、図-2のように西よりの約1kmの区間は砂浜幅約40～60mで離岸堤が7基設置されており、それより東側の砂浜幅は10～15mである。また、浜地海岸の西端は今津川の河口となっており、その西側は礫浜になっている。

調査項目は水質、底質、砂浜生物、底生生物、付着動物、海藻とした。また、高波浪による海浜変形等により漂着油が海浜中に潜り込んでいることが考えられるので、砂浜海岸及び礫浜海岸において鉛直方向の油分残存状況を調べた。

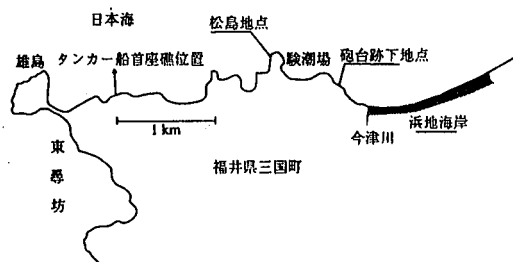


図-1 調査地の位置

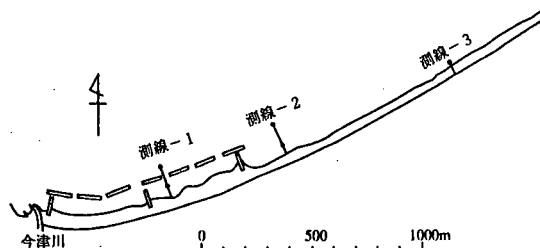


図-2 浜地海岸

2. 調査地の概要

2.1 重油の漂着・回収状況

調査地の北東約40kmに位置する建設省の徳光海象観測所(石川県松任市)では、海象観測を始めた1988年から1996年における最大の有義波高は4.93mであったが、1997年は1月2～3日、6日、21～22日、2月21～22日においてそれを上回り、1月2日7時には有義波高は6.11mに達した。このことから、ナホトカ号の事故から2か月間は例年にない冬季風浪が越前・加賀沿岸に襲来していたことがわかる。また、1月から2月にかけて有義波高が1m以下となる日が少なく、これが重油防除作業に困難をきたした原因の一つと考えられる。一方、風も10m/sを超えることが多く、とりわけ北西の強風が多かった。

三国町では、船首が座礁した1月7日以降約2か月間にわたって断続的に油塊が漂着した。初めはスラッジ状の油塊が海岸に押し寄せたが、最初の漂着から約1か月後以降は少量の油粒が打ち上がる程度になった。漂着した船首から完全に重油が回収されたのは2月25日であったが、その後も油粒が漂着することがあった。

回収作業は漂着直後から行われ、三国町全体で1月20日までに2,170kl、3月28日までに2,520klの砂礫や海水を含む重油が回収された。丸岡藩砲台跡下では、礫を石油に浸した布で拭く作業が3月に行われた。浜地海岸では前浜上の油塊を回収した後、砂中の油粒を回収するため、砂を篩にかけたり、前浜の砂を海へ押し出して、徹底的な油回収が行われた。

2. 2 調査地の概況

越前松島では、1月末に直径10cm以上の油塊が残っているところがあった。そのような場所では、岩に付着している貝類やノリ類を中心に動植物への油の付着が見られ、貝類の中には付着力の低下が見られる個体も発見された。一方、海面下ではほとんど油の付着が見られなかった。その後、岩の表面に油の付着が多少見られるものの、波当たりの強い場所を中心に油の付着が見られなくなっていった。

九岡藩砲台跡下では、1月末には潮間帯からかなり陸側まで油の付着が見られた。油が付着した岩では、そこに生息していたノリが死滅していた。しかし、海面下では油の痕跡は確認されなかった。その後も礫と礫の隙間に油塊が見られたものの、次第に油塊は見られなくなっていった。

浜地海岸では、篩等により徹底的に漂着油の回収が行われたが、3月までは波によって打ち上がったゴミと同じような位置に直径2～10cm程度の油塊が見られた。しかし、6月になると海水浴場の整備が進み、海水浴場として用いられる離岸堤区間では海浜表層の油塊はほとんど見られなくなった。ただし、離岸堤のない区間の海浜には、高波の打ち上げ線に沿って油粒が見られ、長さ約50cmの油塊も表層付近に見られた。

3. 水質調査

スラッジ状の油塊が大量に漂着した事故直後から時間が経過しても、海面付近に薄い油膜として存在したり、海岸に漂着した油が高波浪等により海水に溶け込んだりして、海岸付近の海水中に油分が含まれていることが予想される。水質は生物の生息環境の最も基本的な要素であり、その悪化による生物への悪影響が懸念される。そこで、浜地海岸の2測線上の各測点において、表層と底層（底上50cm）の水温、塩分、油分濃度を測定した。測線1は離岸堤の開口部に、測線2は離岸堤のない区間に設定した。測点は両測線とも汀線より50m、150mに設定しており、測線1の岸側の測点は離岸堤より汀線寄りに、沖側の測点は離岸堤より沖に位置する。また、バックグラウンド値を得るため、油が漂着しなかった富山湾の高岡市雨晴海岸の2測点（測点1：突堤に囲まれた水域、測点2：突堤の外海側）でも表層の水温、塩分、油分濃度を測定した。採水は、表層では原則としてガラス製の試水瓶を直接水に付けて行い、底層では潜水者が密閉式バケツで行った。試水量は1ℓとし、分析は四塩化炭素抽出の赤外分光法（JIS K0102-26）で行った。なお、3月までの調査では、DO、pH、透視度、濁度、COD、大腸菌群数の測定も行ったが、特異な測定値はなかった。全般に、浜地海岸の海水は有機物が少なく、清浄であった。しかし、底層では懸濁物が多く視程が悪いこともあった。

図-3は浜地海岸での水中油分の測定結果である。2月5日、2月25日、6月11日、11月21日に油分が検出されており、最初の重油漂着から約1か月後の2月5日より約2か月後の2月25日の方が水中油分が高く、約5か月後の6月11日の方がさらに高かった。6月11日の水中油分が高かったのは、海水浴場整備のため浜で重機による敷き均しが行われて、前浜の砂の一部が汀線付近に押し出されたためと考えられる。このように、油分濃度が時間的に減少していくのではなく、間欠的に高い値が出るのは、海岸に残留している油分が高波浪などにより再流出しているためと考えられる。また、表層の方が底層より油分濃度が高いことが多かったが、6月11日の測線2の岸側のように底層の方が油分濃度が高いこともあった。離岸堤の岸側と沖側との比較では、調査日より水中油分の大小が異なっていた。一方、雨晴海岸では水中油分は全く検出されなかった。また、1月14日の三国町崎の浜の汀線付近で3.0mg/lの水中油分が検出されているが¹⁾、今回の測定結果はそれより低かった。なお、1974年に起きた三菱石油水島製油所の重油流出事故発生後20日後に高松市で最大0.5mg/lの水中油分が測定されており²⁾、今回の測定結果はそれと同じオーダーであった。

さらに、油の成分の一部は海面に油膜として浮くことが考えられるので、水中油分と同一地点で海面油分を測定した。試水採取は、直径30cmのステンレス金網を水面に浸けた後、静かに引き上げて金属バットに写し、バット内で数回金網を四塩化炭素で洗うことにより行った。水中油分と同様に分析し、四塩化炭素中の油含有量を海面1m²あたりの油分に換算した。なお、目視で海面に油膜が見られない場所で採取することを心がけた。図-4のように、浜地海岸では、2月5日は検出されなかったが、2月25日に平均で237mg/m²、3月18日に平均で295mg/m²の海面油分が検出され、その後も最大150mg/m²の海面油分が検出された。雨晴海岸の測点1でも7月10日に

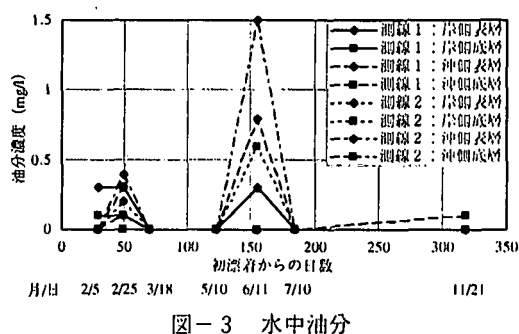


図-3 水中油分

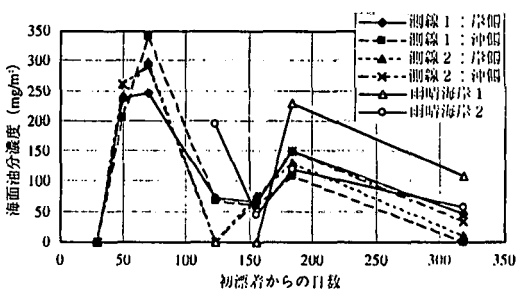


図-4 海面油分

230mg/m²の海面油分が検出されており、浜地海岸の海面油分がそれより著しく高かったとはいえない。離岸堤の岸側と沖側との比較では、3月18日以外は岸側の方が海面油分が高かった。また、水中油分が検出されなかった3月18日に海面油分が高かったり、逆に水中油分が高かった6月11日に海面油分が比較的低かったことから、水中油分と海中油分との関係は明瞭ではなかった。これは、油分が空間的に一様ではなく、パッチ状に漂っていることを示唆していると考えられる。

4. 底質調査

既往の事故調査では、砂浜海岸に油が漂着すると、表面の油を回収しても砂浜表層以深に油が残存することが報告されている²⁾。また、漂着した油塊の一部は海底に沈降したり、漂着した油分が砂にまみれて海底に移動することも想定される。浜地海岸では、海岸に漂着した重油の上に波により砂が2～3 m堆積したことが報告されている³⁾。そこで、漂着油の残存状態を経時的に把握するため、底質中の油分の測定を行った。

4. 1 定点調査

浜地海岸の測線1および2の陸域部4地点において、30cm×30cmの枠を設定し、深さ30cmまでの表層、深さ50cmおよび100cmの底質をシャベルで採取した。また、海域部では、潜水作業により直径80mmのコアチューブで海底の堆積物を厚さ10cm以上になるように採取した。汀線際ではハンスミス採泥器で約10cm程度の厚さで砂を採取した。採取した試料は四塩化炭素抽出の赤外分光法で分析し、砂1 kg当たりの油分量を算出した。

図-5のように、陸域部の表層では第1回調査の時点では10mg/kg前後の油分が検出されたが、その後は低減して5月には検出限界以下になった。一方、地中の底質について見ると、7月9日には測線2の汀線から20m陸側の深さ100cmで19mg/kg、11月6日には測線1の汀線から35m陸側の深さ50cmで41mg/kgの油分が検出されていた。これは、表層は回収作業等により油分が無くなったものの、海浜中には油分が散在していることを示唆しているものと考えられる。

海域部では、図-6のように2月25日に測線1、2とも14～26mg/kgの油分が検出されているものの、他の時期の調査では油分は検出されなかった。海底付近には砂漣が発達し、その間に海藻片などの浮遊懸濁物が溜まっているが、2月25日に直径1 cm程度の油塊が1個発見された以外には油塊や油が付着した礫などは全く発見されなかった。これらのことから、漂着した油が直接沈降して堆積していることはないが、砂浜の表層に存在している油分が波などで水域に回帰する際、一部が砂と共に移動して海底に留まることはありえると考えられる。なお、2月25日は水中油分も比較的高かったことから判断すると、この時点の海岸近くの水域では油分が海底表層や水中に比較的多く存在していたと考えられる。

4. 2 鉛直分布調査

漂着油の鉛直方向の残存状況を調べるため、機械による掘削調査を行った。調査地は、浜地海岸と今津川をはさんで隣接する礫浜で行った。浜地海岸では、測線1、2において、堤防から汀線に向けて幅2 m、深さ約1.5mのトレン

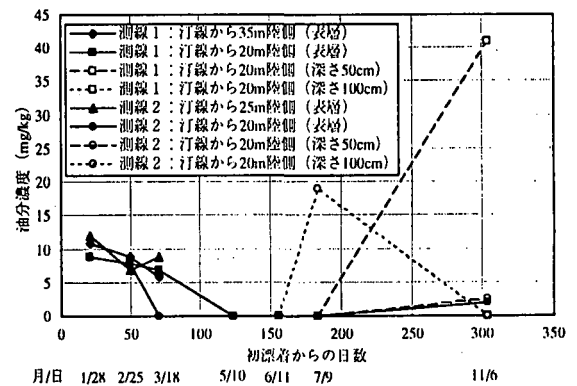


図-5 陸上部の底質油分

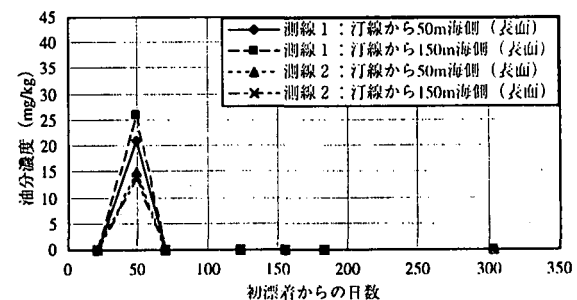


図-6 海域の底質油分

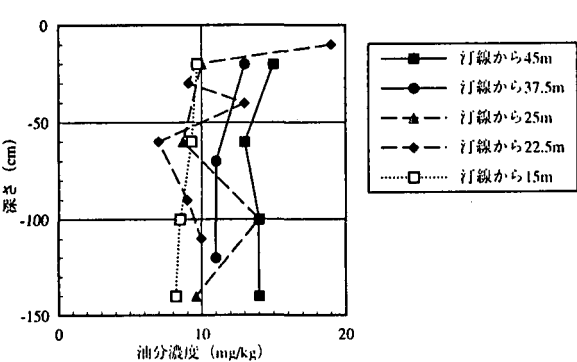


図-7 底質油分の鉛直分布 (測線1)

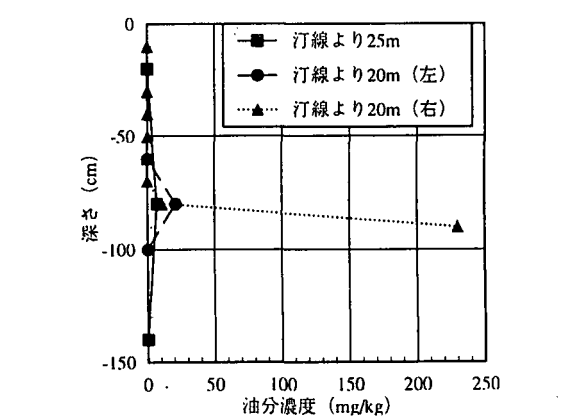


図-8 底質油分の鉛直分布 (測線2)

チ掘削を2月6～7日に行った。測線1、2では2地点で、測線3では1地点で鉛直方向に10cm毎に試料を採取し、それぞれ数個の代表点について油分の分析を行った。一方、今津川河口左岸の礫浜では、3月6日にトレンチ掘削1箇所（幅1m、深さ1m、長さ約15m）と観測穴（径約1m×深さ1.5m）2箇所（堤防より12m地点と15m地点）の掘削を行い、土質組成の異なる鉛直3点で試料を採取し、油分の分析を行った。

浜地海岸では、図-7、8のように測線1で深さ140cmまではほぼ一様に10mg/kg前後の油分が検出される一方、測線2で深さ90cmでスポット的に230mg/kgの油分が検出された。また、測線3では深さ120～130cmで20,000mg/kgという非常に濃い油分が検出された。これらのことから、海浜中に油分濃度が高い層が散在していることがわかる。

今津川河口左岸の礫浜は油の漂着がかなりあったが、ボランティア等により漂着油の回収が行われていた。調査時点では、汀線付近の玉石には油の付着は見られなかったが、汀線より陸側7m以上では油の付着した玉石がかなり残っていた。図-9のように、油分濃度は全体的には浜地海岸に比べ高かった。油分は礫が中心の深さ50～70cmでは72.7～415mg/kgと高いが、礫混じりの砂層の深さ90～100cmでは15mg/kg前後に減少し、礫がない砂層の深さ130～150cmでは検出されなかった。このことから、礫浜に漂着した重油は礫が存在する深さまで入り込んでいたことがわかる。

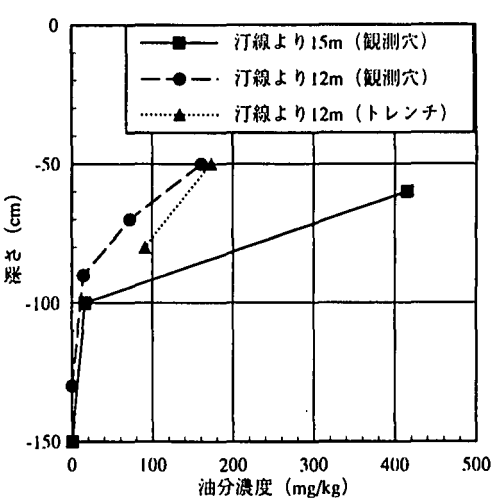


図-9 底質油分の鉛直分布（礫浜）

5. 砂浜海岸における生物調査

既往の事故調査では、油の漂着により砂浜に生息する生物に影響が出るとの報告がある^{2) 4)}。そこで、今回の事故の砂浜生物への影響を把握するため、砂浜生物と底生生物に関する調査を浜地海岸で実施した。

5. 1 砂浜生物

測線1及び2の汀線から20m陸側において、30cm×30cmの枠内の深さ30cmまでの砂をシャベルで採取し、その砂中に存在する砂浜生物の種同定と計数調査を行った。表-1のように、2月までの調査結果では、砂浜生物は種類数、個体数とも少なかった。その理由として、海浜変形が激しいため砂浜生物の生息に適していないことが考えられる。その後、環形動物や節足動物を中心に種類数、個体数とも増加したが、季節変化によるものか油の影響の減少によるものかどうかはわからなかった。

5. 2 底生生物

砂浜に油が漂着した時、運動能力の高い生物は避難行動によって影響を小さくできるが、貝類や多毛類の場合、直接影響を受けて死亡したり弱ったりすることが考えられる。そこで、浜地海岸の測線1及び2の各2点

表-1 砂浜生物の変化

		単位：個/0.09m ²									
測線	位置	1月28日		2月25日		3月18日		6月11日		11月6日	
		種類数	個体数	種類数	個体数	種類数	個体数	種類数	個体数	種類数	個体数
1	汀線から35m	0	0	1	1	3	49	—	—	—	—
	汀線から20m	0	0	1	1	3	13	5	27	6	421
2	汀線から25m	0	0	0	0	3	5	—	—	—	—
	汀線から150m	0	0	0	0	1	2	6	89	2	11
確認された生物		節足動物 ハマダンゴムシ ヒゲナガハマトビムシ ヒメハマトビムシ 環形動物 ヒメミミズ ツルヒゲゴカイ 他									

表-2 底生生物の変化

		単位：個/0.1m ²									
測線	位置	2月6日		2月25日		3月18日		6月11日		11月21日	
		種類数	個体数	種類数	個体数	種類数	個体数	種類数	個体数	種類数	個体数
1	汀線から50m	2	4	4	48	6	48	7	185	8	118
	汀線から150m	0	0	6	124	4	22	6	173	13	29
2	汀線から50m	2	10	5	69	7	50	7	46	13	347
	汀線から150m	2	9	6	34	11	127	9	179	15	167
個体数の多い種		Pisione sp. ヒナサキドリ		Nereimyra sp. Saccocirrus sp.		Nereimyra sp. Saccocirrus sp.		Nereimyra sp. Pisione sp.		Nereimyra sp. Pisione sp.	

において、潜水作業により0.05m²の採泥器で2回海底堆積物を採取し、マクロベントス（1mm目の篩に残る底生生物）を同定計数した。

表－2のように、2月6日の調査では0～2種類、0～10個体と少なかったが、その後種類、個体数とも増加し、3月中旬の3回目では4～11種類、22～127個体となり、6月には更に増加して6～9種類、46～185個体となった。冬季に少なかった理由としては、冬季風浪により顕著な海浜変形が生じていたことが考えられ、重油漂着の影響がどの程度あったのかはわからなかった。

6. 岩礁・礫浜における生物調査

6. 1 付着動物

岩礁や礫浜の汀線付近に付着している動物は、漂着した油の影響を直接受けるので、影響はかなり大きいと考えられる。しかし、死亡した個体や弱った個体は波により流されてしまっていると推測され、経時的に種類数や個体数を測定することで回復過程が把握されることが期待される。そこで、越前松島及び丸岡藩砲台跡下にて、コドラートを用いた定量採取による汀線際の付着動物の同定計数と目視観察を行った。

表－3のように、定量採取の測定結果では、砲台跡下では3月までの3回の調査で30cm四方で22～40種、61～287個体が、松島では44～74種、125～299個体が出現した。全般に3回の調査時の差異ははっきりしなかった。6月の調査では砲台跡下で64種類、368個体、松島で61種類、206個体が出現した。

越前松島では、飛沫帯から汀線までは軟体動物のアラレタマキビ、カモガイ、タマキビ、ベッコウガサ、節足動物のカメノテなどが、汀線際では軟体動物のコシダカガンダラ、オオコシタカガンダラ、サザエ、棘皮動物のバフンウニなどが多く観察された。この出現種の傾向は3月までの調査ではほぼ同様であった。一方、砲台跡下では飛沫帯から汀線までは軟体動物のアラレタマキビ、タマキビなどが観察された。また、水深に関係なく軟体動物のサザエが多く観察され、水産有用種である軟体動物のトコブシや棘皮動物のムラサキウニなども比較的多く観察された。

目視で見える限り、水面下に生息する動物への油の影響は認められなかった。汀線上に生息するアラレタマキビ、カメノテには1回目の調査では油の付着している個体が見られたが、活性が低いようには見られなかった。また、周辺にはサザエは比較的多く見られ、活性上も異常はなかった。

以上のことから、重油漂着から1～11か月後において、重油漂着の付動生物への影響は認められなかったと考えられる。

6. 2 海藻

汀線付近に油が漂着した際、付着動物とともに影響を受けやすいのが海藻である。とくに、離岸堤や岩など

表－3 付着動物の変化

測点名	測定方法	項目	1/28・2/5	2月25日	3月18日	6月11日	10月3日	12月6日
砲台跡下	定量採取 (0.09 m ²)	種類数	22	37	40	64	定量採取せず	63
		個体数	61	101	287	368		346
		湿重量(g)	3.29	9.6	9.26	56.01		16.5
		主要種	ジュズイソメ	ジュズイソメ	ジュズイソメ	ウメボシイソ ギンチャク		ジュズイソメ
越前松島	定量採取 (0.09 m ²)	種類数	61	74	44	61	定量採取せず	30
		個体数	247	299	125	206		242
		湿重量(g)	27.41	28.61	8.61	40.62		18.7
		主要種	ボサツガイ	ボサツガイ	ボサツガイ	モクス ヨコエビ		モクス ヨコエビ
越前松島	定点観察 (1 m ²)	緑辺部	10	15	11	14	20	15
		中央部	12	8	8	13		7
		種類数						

表－4 海藻の変化

測点名	測定方法	項目	1/28・2/5	2月25日	3月18日	6月11日	10月3日	12月6日
砲台跡下	定量採取 (0.09 m ²)	種類数	32	24	36	20	定量採取せず	25
		湿重量(g)	43.51	214.66	133.31	398.36		221
		主要種	ビリヒバ	イソモク	アカモク ビリヒバ	アカモク		イソモク
		汀線際種類	10	9	13	12		13
越前松島	定量採取 (0.09 m ²)	種類数	34	31	29	22		26
		湿重量(g)	82	92.01	165.09	86		198
		主要種	マメタワラ	マメタワラ	イソモク	イソモク		イソモク
		緑辺部種類	13	20	18	18		18
越前松島	定点観察 (1 m ²)	中央部種類	16	17	15	18	24 21	12

に付着するノリの類や、海面に一部が浮かんでいるホンダワラの類などは漂着した油に直接接触するため、大きい影響を受けることが予測される。そこで、越前松島と丸岡藩砲台跡下において、コドラートをを用いた定量採取と定点目視観察により、海藻の同定等の測定を行った。

越前松島、丸岡藩砲台跡下とも、水面下ではいわゆるガラモ場（ホンダワラ類による海藻群落）が構成されており、汀線付近から飛沫帯にかけてはアマノリ属などが生息している。

1月末に現地調査を開始した段階では、油にまみれた海藻が海岸に打ち上がっていたり、岩に付着したノリ類が明らかに油の影響と思われる光沢を帯びていたりしたが、その後このような直接の影響は目視でも減少し、3月以降の調査時にはほとんど見られなかった。特に海面下では油の影響を目視ではほとんど認められず、海藻の周辺に油の付着は見られなかった。汀線付近でも、ノリ類が季節変化とともに減少すると、海藻に付着した油分もほとんど見られなくなった。表-4のように、定量採取による測定結果では、12月までの調査で両測点で0.09m²あたり20～36種の花藻が出現し、5回の調査の差異は数字上でははっきりしなかった。

海藻の油分の付着・取込状況を調べるため、海藻に付着している油分と含有されている油分の分析を行った。付着油分は、採集した海藻をガラス瓶の中で数回四塩化炭素で洗った後、四塩化炭素中の油分を測定し、海藻湿重量当たりの油分量に換算して求めた。含有油分は、付着油分を洗い流した海藻をすりつぶして、再度四塩化炭素で抽出して測定した。表-5のように、越前松島、砲台跡下とも付着油分は2月25日、6月11日、12月6日が比較的高かった。図-3を見ると、2月25日と6月11日は水中油分が検出されている。このことから、水中の油分が海藻に付着していることがわかる。一方、含有油分は付着油分とは異なる変動傾向を示している。また、油の漂着していない雨晴海岸と三国町との間に含有油分の著しい差はない。これらのことから、海藻の表面に海水中の油が付着していても、海藻中の油分が著しく多くなることはないと考えられる。

以上のことから、水中の油分が海藻の表面に付着することがあるものの、海藻の種類数や個体数の変動に油の影響は認められなかったと考えられる。

7. おわりに

三国町の砂浜海岸と岩礁海岸での水質、底質、生物に関する継続的な現地調査により得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) 浜地海岸での水中油分は海象や回収作業等の影響で一時的に検出されたが、7月以降ほとんど検出されなかった。また、海面付近の油分濃度は重油が漂着しなかった雨晴海岸と同程度であった。
- (2) 浜地海岸の地上部では地表から深さ140cmでも油分が検出され、油分濃度が高い層が地中にあることがわかった。また、浜地海岸に隣接する礫浜でも、礫が存在する深さ1mまで油分が検出された。
- (3) 浜地海岸の海浜部表層の油分濃度は徐々に減少し、5月以降はほとんど検出されなかった。一方、海底の底質中の油分は1回検出されただけであった。
- (4) 浜地海岸で砂浜生物、底生生物の同定計数を行ったが、油の影響と思われる種類数や個体数の変化は認められなかった。
- (5) 越前松島及び丸岡藩砲台跡下での付着動物、海藻の定点調査でも、種類数や個体数に油の影響と思われる変化は認められなかった。また、海藻中に含まれる油分は油が漂着しなかったところと差異は認められなかった。

参考文献

- 1) 山口晴幸 (1997) : ロシアタンカー流出重油日本海沿岸を襲う, 土木学会誌, Vol.82-4, pp.28-34.
- 2) 岡市友利, 辰巳修三編著 (1975) : 瀬戸内海の重油汚染, p.80.
- 3) 沢野伸浩 (1997) : 漂砂による漂着重油の埋没とその後の回収・処理作業の課題, 月刊海洋, Vol.29, No.10, pp.618-622.
- 4) 矢可部芳州, 兵頭秀樹, 楠本謙二, 屋形直明, 竹内伸一 (1997) : 海洋における流出油の自浄メカニズムの解明, 平成8年度化学品検査協会研究発表会講演要旨集, pp.62-70.

表-5 海藻の付着油分・含有油分の変化

		単位: mg/kg				
測点	項目	1/28・2/5	2月25日	3月18日	6月11日	12月6日
松島	付着油分	41	203	1.6	121	467
	水深0.5m 含有油分	33	42	67	54	19
松島	付着油分	—	213	1.7		
	水深2m 含有油分	—	35	44		
松島	付着油分	—	314	2.7		
	水深5m 含有油分	—	50	120		
砲台跡下	付着油分	0	803	1.4	117	442
	含有油分	0	76	48	18	9
雨晴海岸	付着油分	—	—	1.9		
	含有油分	—	—	64		