

ナホトカ号重油流出事故による 海岸植生への被害の程度と影響について*

多田雅充¹・横山俊一²

はじめに

海洋への油流出事故は、油が漂着した沿岸域も含め、そこに生息・生育する野生生物へ大きな被害を与える。植物においても、湾岸戦争に伴う1990年のサウジアラビアでの原油の流出によって、マングローブ林などが壊滅したことが報告されている(吉川・山本 1993)。しかし、日本においては、鳥類への油汚染による被害の報告があるものの(大畑 1998, 大畑ほか 1993)、植生や植物についての記録・分析はほとんどない。

1997年1月2日に日本海で起こったロシア船籍タンカー、ナホトカ号による重油流出事故は、福井県を含む1府7県の沿岸地域に汚染をもたらした(環境庁 私信)。その被害が、これまでに例を見ない規模となったため、重油漂着の直後から海岸の自然生態系への影響が憂慮された。そのため本県は、県庁各課の横断的な組織として「福井県環境保全技術対策プロジェクトチーム」を同年1月16日に設置し、沿岸域の大気、水質、底質、植生、水産生物を対象にその被害の程度と影響について調査してきた。筆者らは、そのうち海岸植生を担当したので、その結果を整理・分析し、また、植物の枯死の原因についても検討してみた。

調査地

重油汚染による被害の程度と影響を明らかにするために、調査地として、ナホトカ号の船首部が漂着した地点に近い雄島(おしま)と植生の比較資料のあった三里浜(さんりはま)の2カ所を選んだ。

1. 雄島

雄島(36°15'N, 136°07'E)は、福井県坂井郡三国町の安島地区の沖あい約300mに位置し、面積2.1haの無人島である(図1)。また、ナホトカ号の船首部が漂着した地点から西へ約800mの距離に位置し、冬期は、北西からの季節風を直接受けている。

本島は、越前加賀海岸国定公園特別保護地区に指定されており、大湊神社の社叢林として保護されている。そのため、自然林の様相をよく保った照葉樹林が大部分を占めている。主にタブノキ *Machilus thunbergii* が優占する林であるが、北部には全国的にも珍しいとい

* 福井県自然保護センター研究業績 第59号

1. 福井県自然保護センター。〒912-0131 福井県大野市南六呂師169-11-2

2. 福井大学教育学部。〒910-8507 福井県福井市文京3-9-1

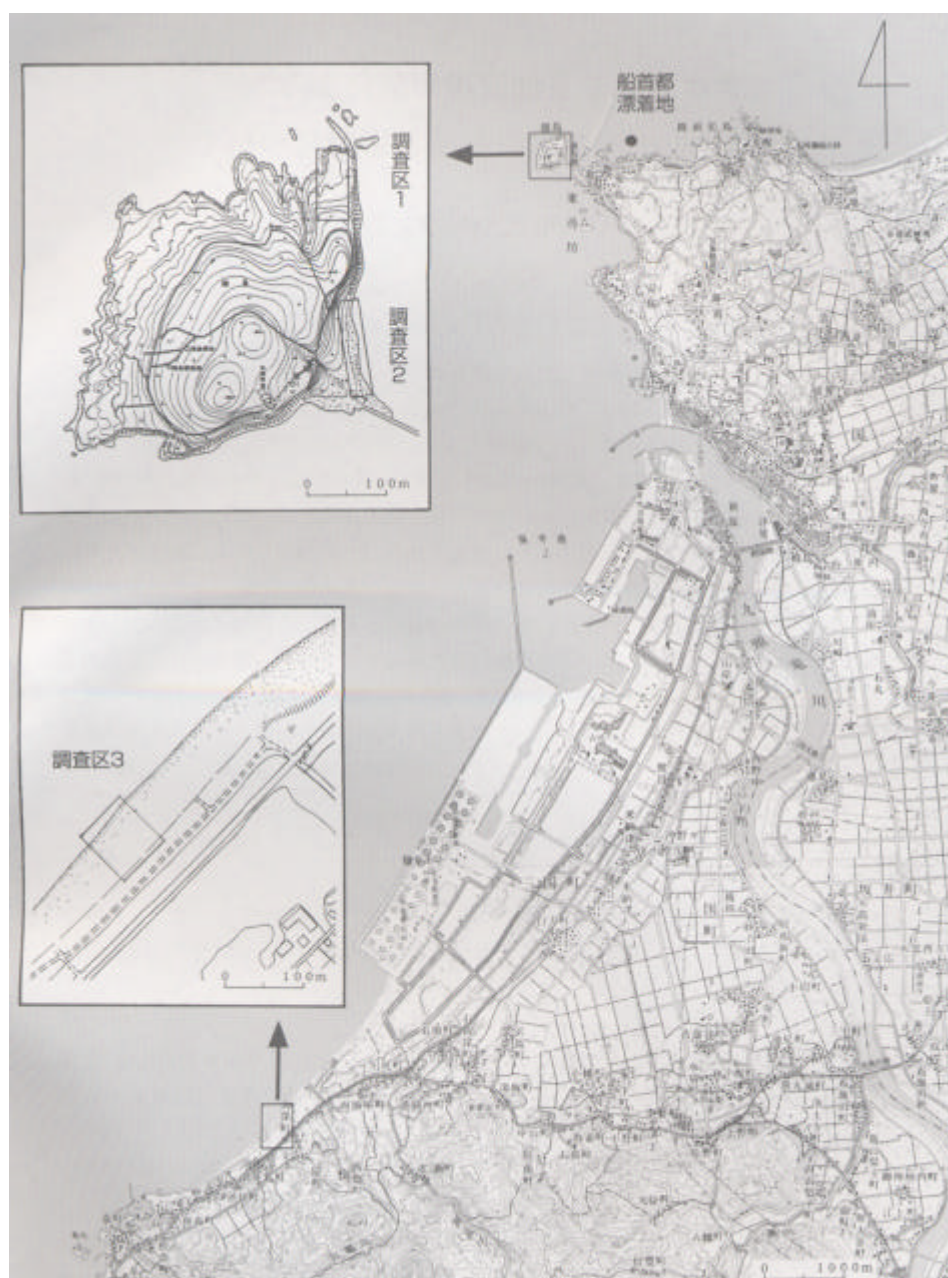


図1. 雄島（調査区1と調査区2）と三里浜（調査区3）の位置.

われるヤブニッケイ *Cinnamomum japonicum* の純林がある。また、林床や林縁にはキノクニスゲ *Carex matsumurae*、ハマウド *Angelica japonica* など、日本海沿岸域での北限に近い種が生育し、その個体数も豊富である（福井県 1985）。

本島には、北部の入り江付近と雄島橋の北部に、それぞれ調査区1と調査区2を設置した。調査区1は、冬期の季節風と波の影響を強く受ける場所に位置しており、汀線から約10mまでは板状節理の発達する岩場、それ以上が植生域で、約60mまではドロイ *Juncus gracillimus*、ミソハギ *Lythrum anceps* などが優占する小さな湿地が点在し、約100mまではススキ *Miscanthus sinensis* が優占する草原とマルバシャリンバイ *Rhaphiolepis indica*、トベラ *Pittosporum tobira* などが優占する低木林が入り組んでいた。また、調査区2は、島の東部に位置し、冬期の季節風や波が比較のおだやかなため、海岸から植生域までの距離が約10mで最も短い場所であり、汀線から内陸に向かってハマウドが優占する草原、ヤブツバキ *Camellia japonica*、トベラなどが優占する低木林、タブノキが優占する高木林へと変化していた。

2. 三里浜

三里浜（36°09'N, 136°05'E）は、九頭竜川河口の南西部の、坂井郡三国町と福井市にまたがる、以前は全長約12km、幅約1.5kmの海岸砂丘であった（図1）。しかし、現在では、その範囲が近年の臨海工業地帯の造成により大幅に減少し、南部の約4kmが砂浜として残っていた。本浜の中心は、ナホトカ号の船首部が漂着した地点から南南西へ約13kmの距離に位置していた。冬期には、季節風の影響で汀線から30～40mの内陸まで波が打ち寄せることがある。

この一帯は越前加賀海岸国定公園第1種特別地域に指定されている。そのため砂丘景観がまだ保存されており、ハマヒルガオ *Calystegia soldanella*、ハマナス *Rosa rugosa*、コウボウムギ *Carex kobomugi* などの多くの砂浜植物が生育し、典型的な海岸砂丘植生を形成している（福井県 1985）。

本浜には、中央部に調査区3を、また、その中に汀線から垂直に内陸に向かって100mの調査線を設置した。6月24日には、ハンドレベルを用いて簡易水準測量を行い、この調査線の地形断面図を作成した。汀線から約50mまでの範囲は傾斜約2度で植生はなく、そこから約60mまでの範囲は傾斜約2度の、コウボウムギ、ハマヒルガオなどがまばらに生育する草原、そこから約100mまでが傾斜約11度の、ハマゴウ *Vitex rotundifolia*、ネコノシタ *Wedelia prostrata*、カワラヨモギ *Artemisia capillaris* などが生育する植被率の高い植生域であった（図4参照）。

調査方法

1. 重油汚染の程度

雄島では、1997年1月20日、27日、2月1日、8日、12日、3月3日の計6日、調査区1と調査区2で、目視により汚染の範囲を記録した。また、3月3日には、調査区2で、個体数が多く重油の付着が目立ったハマウドを対象に、汀線から約15m幅の雄島橋から北へ約120mの範囲で、その位置と汚染度を記録した。汚染度とは重油の付着の程度を表し、重油が植物体の10%以上を覆っていたものを「2」、それ以下を「1」および付着のないものを「0」と

した。また、1月27日には、重油が付着していたハマウドとマルバシャリンバイの葉の数枚を持ち帰り、光学顕微鏡で断面の組織を観察した。

三里浜では、1997年1月20日、27日、2月1日、8日、12日の計5日、調査区3で、植物への重油の付着状況を記録し、写真撮影を行なった。また、定期的な重油回収作業が行なわれる前の2月1日に、調査線の約1mごとに1m²の面積内（地表部のみ）にある重油を採取し、重量を測定した。

2. 重油汚染の影響

(1) 生育状況

1997年1月27日、2月1日、8日、12日、24日、3月3日、17日、4月21日、24日、5月12日、6月10日、19日、24日、7月15日、18日、9月12日、18日、10月24日、29日、11月18日、1998年1月8日、2月5日、19日の計23日、3つの調査区を任意に歩き、植物の出芽、展葉、伸長、開花などの状況を観察し、随時、写真撮影を行なった。

雄島の調査区2には、前年に成長して枯れたハマウドの茎が多数残存していた。それらは、硬く腐敗していなかったため、枯れた時点の状態がよく保存されていると考えられた。そこで、同地点における前年の1996年の茎の伸長量を推定するため、2月24日、保存状態の良い75本を無作為に選び、基部から花序痕までの長さを計測した。また、9月11日には、本年の1997年に成長して枯れた茎72本を同様に計測し、両方の平均値をt検定で比較した。

また、1997年2月8日、調査区1で重油の付着が目立ったマルバシャリンバイの3個体を、調査区2でマルバシャリンバイの1個体、ハマウドの5個体、ハマボックス *Lysimachia mauritiana* の5個体を標識・識別した。そして、2月24日、3月3日、17日、4月21日、24日、5月12日、6月10日、19日、24日、7月15日、18日、9月12日、18日、10月24日、29日、11月18日、1998年1月8日、2月5日、19日の計19日にそれらの生育状況について記録した。

(2) 群落の種組成と分布

有害揮発成分も含め重油によって植物の成長に障害が起これば、群落の種組成や分布にも何らかの変化が生じると予想される。そこで、1997年6月24日に三里浜の調査区3の調査線で、連続的に1m×1mの調査枠を置き、出現する種とその被度を記録した。そして、記録種の数・組成と分布について、重油汚染事故より以前にほぼ同所で行なわれた植生調査（横山 1995）と比較してみた。

3. 病気または潮風による影響

植物の葉に見られた枯れや変色の原因として、重油汚染以外に病気や潮風害の可能性も考えられる。

病気による結果であれば、枯死体から何らかの病原体が検出されることが考えられる。そこで、1997年7月17日に枯れていた2個体のハマウドの全体を採集し、真菌類について培養・検出してみた。さらに、7月18日に、三国町安島から丹生郡越廼村までの海岸線に生育するハマウドの状態についても観察し、雄島のそれと比較してみた。

また、潮風によっても植物が弱ったり枯死することが知られている（小田 1992）。もし、潮風による結果であれば、枯死の起こる直前に飛塩が発生する気象的变化があるはずであ

る。そこで、福井市豊島（36° 03'N, 136° 14'E）と敦賀市松栄町（35° 39'N, 136° 04'E）および雄島に近い三国町陣ヶ丘（36° 14'N, 136° 09'E）での最大風速と風向の資料（福井地方気象台 1997a, 1997b）から枯死との時間的一致について分析してみた。また、枯死の原因となる塩素成分について、1997年11月18日に、調査区2で、マルバシャリンバイとオニヤブソテツ *Cyrtomium falcatum*, 対岸の安島地区でオニヤブソテツとハマボスの健全な葉と褐色に変色した葉をそれぞれ1個体から数枚ずつ採取して、葉1g（乾重量）中の塩化物イオン、ナトリウムイオンなどをイオンクロマト分析により測定した。

結果と考察

記録された植物の種とその学名は表1に掲載してある。

1. 重油汚染の程度

(1)雄島

調査区1では、1月20日に、入り江の一部に多量の重油が残留していた（写真1）が、1月27日には、ほぼ回収されていた。入り江の東側の岩場にあった、ミソハギ、ドロイなどが生育する湿地では、波の飛沫などによって内陸へ運ばれたと考えられる重油によって水面に油膜が浮いていた。しかし、周辺の岩や植物に重油のはっきりとした付着はみられなかった。また、回収作業が行なわれた通り道で、大部分の葉に重油が付着したマルバシャリンバイの数個体が確認されたが、状況から作業の際に重油を浴びたものと考えられる。



写真1. 入り江に残留した重油（調査区1, 1997年1月20日）。

調査区2では、1月20日には、漂着重油の回収作業がほぼ終了していたため、大きな塊状の油は確認されなかったが、汀線から5～6mまでの岩場や転石は付着した油のために全体が黒くなっていた（写真2）。また、草原に生育するハマウド、ハマボス、オニヤブソテツ、マルバシャリンバイ、ハマゴウに重油が付着した個体が目立った（写真3）。また、葉

の一部が枯れた個体が多く見られ、特にハマウド、オニヤブソテツで顕著であった（写真4-1、4-2）。3月3日には、重油が付着していた197個体のハマウドが記録された。それらは汀線から内陸方向へ7～13mの範囲を中心に分布していた（図2）。そのうち汚染度1は110個体（55.8%），汚染度2は87個体（44.2%）であった。しかし、これらの重油の付着は、回収作業に伴う二次的なものが多かった。そして、葉が枯れた原因の多くは、重油の付着部から枯れが広がっていなかったこと、重油の付着がない個体にも同様の現象が見られたことから、重油の付着によるものとは考えにくい。



写真2. 転石帯に付着した重油
（調査区2，1997年1月20日）。



写真3. 重油の付着したハマウド
（調査区2，1997年2月8日）。



写真4. 葉の一部が枯れていた植物.

4-1：ハマウド（調査区2，1997年2月8日）；

4-2：オニヤブソテツ（調査区2，1997年1月27日）

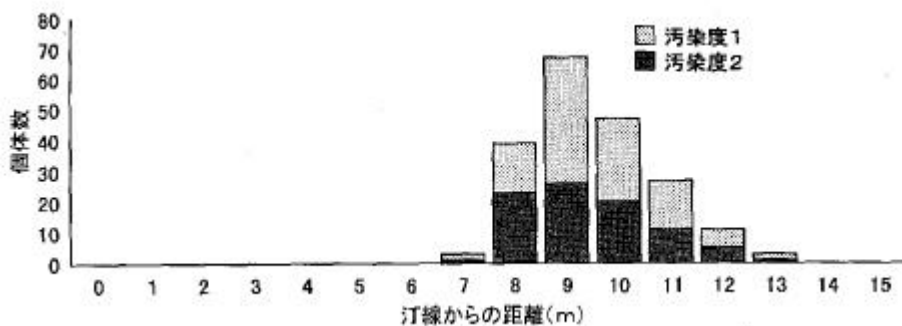


図2. 調査区2におけるハマウドの重油の付着状況.

重油の付着した植物の葉の表面および断面を顕微鏡で観察したところ、マルバシャリンバイでは重油が付着していない部分に比べ気孔が大きく開いており、また、ハマウドでは表皮層に重油が浸透していた（写真5）。しかし、この現象は、重油の付着部だけであり、他の組織に異常は確認されなかったことより、植物の全体を枯死させるまでには至らなかったと考えられる。

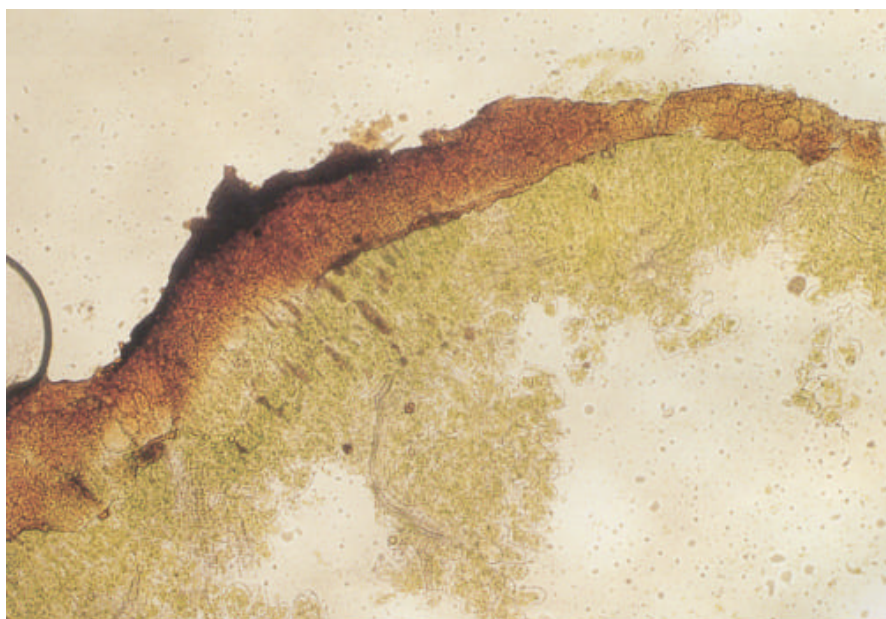


写真5. ハマウドの表皮層に浸透している重油（1997年1月27日）。

(2) 三里浜

ここでは、連日ボランティアによる漂着重油の回収作業が行なわれており、日や時刻により油の残留状況は変化していた。1月20日には、漂着した油塊が汀線から主に5～10mの範囲に見られ（写真6）、また、回収作業者の話では、地表面から30cmほど下までの砂中に油があったとのことであった。また、海水中に小さな球状の油塊が無数にあり、波が引いたあとに残留するのが観察された。



写真6. 漂着または飛着した重油（調査区3，1997年1月20日）。

2月1日には、調査区3で汀線から13～22mの範囲で、前日から当日にかけて漂着したと思われる合計20,798gの砂を含んだ重油が採取された。また、29～39mの範囲では、その位置や硬さから、より波の高い、別の日に打ち上げられたと考えられた合計2,103gの重油も採取された（図4参照）。しかし、40m以上の場所からは、重油はほとんど採取されなかった。植物の地上部は、冬期の休眠期で枯れていたため、植生と汚染域の位置関係は正確には把握できなかったが、汀線から50～60mの範囲にカワラヨモギの新葉、ケカモノハシ *Ischaemum antheaphoroides* の枯れた地上部、ハマゴウの地上茎が存在し、それらに重油の付着は確認されなかった。しかし、有害揮発成分による汚染も想定された。

2. 重油汚染の影響

(1) 生育状況

1997年1月20日から1998年2月19日に雄島と三里浜の3調査区で計77種の植物が記録された（表1）。そのうち生活環の休眠期以外に枯死または葉の枯れが観察されたのは、ハマウド、ハマゴウ、ヨモギ *Artemisia princeps*、オニヤブマオ *Boehmeria holosericea*、ススキ、エビヅル *Vitis ficifolia* などであった。また、展葉が観察されたのはすべての種（100%）で、オニヤブソテツを除く種子植物のうちで開花が観察されたのは少なくとも70種（92.1%）、結実が観察されたのは少なくとも50種（65.8%）であった（表1）。開花または結実の確認されたどの種においても葉、花（写真7-1, 7-2, 7-3, 7-4）、果実などに外見上のはっきりした異常は見られなかった。

表1. 雄島（調査区1と調査区2）と三里浜（調査区3）で確認された種と生育状況.

科	種	学名	調査区			生育状況			
			1	2	3	展葉	開花	結実	
オミナ	オミナ	<i>Cyrtomium falcatum</i>	○	○		○	○	○	-
マツ	カマツ	<i>Pinus thunbergii</i>	○		○	○	○	○	-
ニレ	エキ	<i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>	○			○	○	○	-
クサ	イヌクサ	<i>Persicaria longisetata</i>		○		○	○	○	-
	マコノリヌクサ	<i>Persicaria senticosa</i>		○		○	○	○	-
ナデシコ	カラナデシコ	<i>Dianthus superbus</i> var. <i>longicalycinus</i>	○	○		○	○	○	-
	ハマツクサ	<i>Sagina maxima</i>		○		○	○	○	-
	ムシロナデシコ	<i>Silene armeria</i>			○	○	○	○	-
	マデマ	<i>Silene gallica</i> var. <i>quinquevulnera</i>			○	○	○	○	-
アザミ	ハバアザミ	<i>Atriplex subcordata</i>		○		○	○	○	-
クサキ	ヤブニツク	<i>Cinnamomum japonicum</i>		○		○	○	○	-
キンギョ	セニンソウ	<i>Clematis terniflora</i>	○	○		○	○	○	-
ウツ	アウツ	<i>Cocculus orbiculatus</i>	○	○		○	○	○	-
ウハキ	ヤブウハキ	<i>Camellia japonica</i>		○		○	○	○	-
クサ	キヤン	<i>Corydalis heterocarpa</i> var. <i>japonica</i>		○		○	○	○	-
アヲ	ハナアヲ	<i>Arabis glabra</i>			○	○	○	○	-
	ハナアヲ	<i>Arabis stelleri</i> var. <i>japonica</i>		○	○	○	○	○	-
	ハナアヲ	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>raphanistroides</i>			○	○	○	○	-
ベニツク	セダム	<i>Sedum japonicum</i>	○	○		○	○	○	-
トウ	トウ	<i>Pittosporum tobira</i>	○	○		○	○	○	-
ハナ	カサハナ	<i>Potentilla chinensis</i>			○	○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Rhaphiolepis umbellata</i> var. <i>integerrima</i>	○	○		○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Rosa rugosa</i>			○	○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Rosa wichuraiana</i>	○	○		○	○	○	-
マメ	ゴマツキ	<i>Indigofera pseudotinctoria</i>			○	○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Lathyrus japonicus</i>		○	○	○	○	○	-
	ミナツキ	<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonicus</i>	○	○		○	○	○	-
	クサ	<i>Pueraria lobata</i>	○	○	○	○	○	○	-
	ニセアカシア	<i>Robinia pseudoacacia</i>			○	○	○	○	-
カハミ	カハミ	<i>Oxalis corniculata</i>		○	○	○	○	○	-
ニシキ	マキ	<i>Euonymus japonicus</i>	○	○		○	○	○	-
	ツリハナ	<i>Euonymus oxyphyllus</i>	○	○		○	○	○	-
アト	アト	<i>Ampelopsis glandulosa</i> var. <i>heterophylla</i>		○		○	○	○	-
	エビ	<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>lobata</i>		○		○	○	○	-
グミ	アキグミ	<i>Elaeagnus umbellata</i>			○	○	○	○	-
スミ	アサマシ	<i>Viola mandshurica</i> var. <i>crassa</i>			○	○	○	○	-
ミツ	ミツ	<i>Lythrum anceps</i>	○			○	○	○	-
アハナ	メマツヨク	<i>Oenothera biennis</i>			○	○	○	○	-
	メマツヨク	<i>Oenothera lacinata</i>			○	○	○	○	-
セリ	ハナセリ	<i>Angelica japonica</i>	○	○		○	○	○	-
	ハナセリ	<i>Glehnia littoralis</i>			○	○	○	○	-
ササ	ハナササ	<i>Lysimachia mauritiana</i>	○	○		○	○	○	-
カハ	アハ	<i>Cynanchum atratum</i>	○			○	○	○	-
	アハ	<i>Cynanchum atratum</i> f. <i>viridescens</i>		○		○	○	○	-
アハ	カサハナ	<i>Galium verum</i> var. <i>asiaticum</i> f. <i>nikkoense</i>			○	○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Paederia scandens</i>	○	○		○	○	○	-
セリ	ハナセリ	<i>Calystegia scandens</i>		○	○	○	○	○	-
	アハ	<i>Cuscuta chinensis</i>			○	○	○	○	-
クサ	ハナクサ	<i>Vitex rotundifolia</i>		○		○	○	○	-
ゴマ	ハナゴマ	<i>Linaria japonica</i>			○	○	○	○	-
ハナ	ハナハナ	<i>Orobanchae coerulea</i>			○	○	○	○	-
キ	カサハナ	<i>Artemisia capillaris</i>			○	○	○	○	-
	ヨキ	<i>Artemisia princeps</i>	○	○		○	○	○	-
	アハ	<i>Bidens frondosa</i>			○	○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Heteropappus hispidus</i> ssp. <i>arenarius</i>		○		○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Ixeris repens</i>			○	○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Sonchus asper</i>		○		○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Sonchus oleraceus</i>		○		○	○	○	-
	ハナハナ	<i>Wedelia prostrata</i>			○	○	○	○	-
コ	キ	<i>Asparagus schoberioides</i>	○	○		○	○	○	-
	コ	<i>Lilium leichtlinii</i> var. <i>tigrinum</i>	○	○		○	○	○	-
	コ	<i>Liriope muscari</i>		○		○	○	○	-
ヒ	ヒ	<i>Lycoris sanguinea</i>	○			○	○	○	-
ク	ク	<i>Juncus gracillimus</i>	○			○	○	○	-
	ク	<i>Luzula capitata</i>		○		○	○	○	-
ク	ク	<i>Commelina communis</i>		○		○	○	○	-
イ	イ	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>		○		○	○	○	-
	コ	<i>Briza maxima</i>			○	○	○	○	-
	コ	<i>Digitaria ciliaris</i>			○	○	○	○	-
	コ	<i>Elymus mollis</i>			○	○	○	○	-
	コ	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i>			○	○	○	○	-
	コ	<i>Ischaemum anthephoroides</i>			○	○	○	○	-
	コ	<i>Miscanthus sinensis</i>	○	○		○	○	○	-
	コ	<i>Setaria viridis</i> var. <i>pachystachys</i>		○	○	○	○	○	-
サ	サ	<i>Arisaema thunbergii</i> ssp. <i>urashima</i>	○	○		○	○	○	-
サ	サ	<i>Carex kobomugi</i>			○	○	○	○	-
	サ	<i>Carex matsumurae</i>	○			○	○	○	-
39科	77種		29種	42種	37種	77種	70種	50種	



写真7. 開花した植物.

7-1: テリハノイバラ (調査区1, 1997年6月10日) 7-2: キジカクシ (調査区2, 1997年6月10日)
 7-3: アオフナバラソウ (調査区2, 1997年6月10日) 7-4: アナマスミレ (調査区3, 1997年4月21日)

7月15日に、雄島の調査区2のほとんどのハマウドの地上部が枯れていた(写真8)。この枯死体の茎の伸長量の平均(9月11日計測)は $1.66 \pm 0.31(\text{SD})_m(n=75)$ で、前年の平均(2月24日計測) $1.96 \pm 0.23(\text{SD})_m(n=72)$ と有意に違っており($t=6.60$, 自由度145, $P < 0.001$)、かつ大部分の個体の果実が未成熟の状態であった。つまり生活環を完了せずに枯死していた。この原因として重油汚染、病気または潮風による可能性がある。それらのうち、枯死にいたるまではほぼ正常に生育していたこと、枯死が起こった時期が重油汚染事故より6カ月も後であること、および7月18日には、三国町安島地区から丹生郡越廼村までの海岸線の汚染のない場所でも同様に枯れていたことより、重油汚染による影響は考えにくい。代わって、枯死体に存在していた真菌類の培養液を近縁種のシシウド *Angelica pubescens* の5個体に実験的に植菌したところすべて枯死したこと(今井三千穂 私信)より、病気による可能性が高い。さらに、まだ枯死していなかった6月28日に本県を通過した台風8号により、同日の最大瞬間風速(任意時刻の瞬間の最大値)が、福井市豊島で北々西の風 26.8m/s (23:37)、敦賀市松栄町で北の風 23.4m/s (23:48)に達していた(福井地方気象台 1997a)。ともに風向が北寄りであったことから、調査区2のある雄島の沿岸部では、海からの風が更に大きな風速に達していた可能性がある。一般に陸上で $7 \sim 8\text{m/s}$ 以上の風があると海岸で多くの飛塩が発生し植物へ付着すること(幸喜 1992)より、この強風は、本

種の成長に大きな影響を与えたものと推測される。



写真8. 地上部の枯れたハマウド（調査区2，1997年7月15日）。

また，9月17日，18日には同じ調査区2の植物に枯れが目立った．特に枯れが著しかったのはハマゴウ，ヨモギ，オニヤブマオ，ススキ，エビヅルなどの落葉低木および草本であった（写真9）．それらのうちハマゴウでは，その葉が風上側では枯れ，風下側では枯れていない現象が見られた．9月11日には異常のなかったことを確認しているので，この間の5日ほどに枯れが進行したことになる．本調査地に近い三国町陣ヶ岡での記録によると，9月12日からの数日間は連続して東寄りの風が強く，9月14日，15日は最大風速が7m/s以上であった（福井地方気象台 1997b）．このことよりハマウド同様に塩害が発生して植物体が弱った可能性が高いと考えられる．



写真9. 塩害で弱ったと思われるススキ（調査区2，1997年9月18日）。

そして、11月18日に採取されたマルバシャリンバイ、オニヤブソテツとハマボッスの褐色に変色した葉は、健全な葉に比べて塩化物イオンとナトリウムイオンを多く含んでいた（図3）。このことから、採取個体の葉の変色は、塩分が葉の内部に侵入して生理的な障害を起こしたためと考えられる。

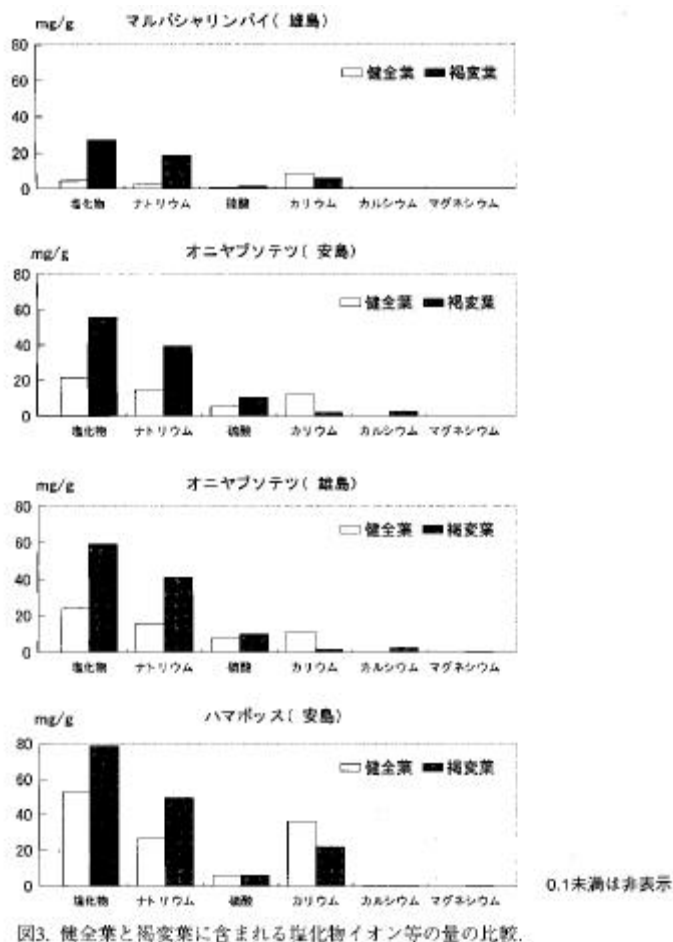


図3. 健全葉と褐変葉に含まれる塩化物イオン等の量の比較.

図3. 健全葉と褐変葉に含まれる塩化物イオンの量の比較.

ハマウド

1997年2月12日～4月21日の観察では、標識個体のいずれも越冬葉の枯れの進行とそれを覆うように新葉が展開していた（写真10-1）。この変化は、重油の付着のなかった個体と同様であったこと、重油の付着部分から枯れが広がっていなかったこと、そして新葉の色、形態などに異常は認められなかったことから、本種の正常な生活環の現象であったと考えられる。



写真10. 重油の付着したハマウドの変化（調査区2）.

10-1：新葉の展開（1997年3月17日）；10-2：開花（1997年6月10日）；

10-3：新葉の再展開（1997年10月24日）；10-4：越冬葉（1998年1月8日）

5月12日には茎の伸長が、6月10日には開花が観察された（写真10-2）。7月に一度立ち枯れした個体も10月24日には、茎の根元から新葉が展開し始めていた（写真10-3）。12月1日には、葉が成長し部分的な枯れが見られる個体もあった。1998年1月8日には、葉が更に成長するとともに枚数も増加し（写真 10-4），群落全体の相観は、1997年2月8日と類似していた（写真4-1参照）。葉の部分的な枯れについては、下側のより早い時期に展開した葉で多く認められ、これは1997年2月12日～4月21日に観察された結果と同様であった。

マルバシャリンバイ

1997年2月24日～3月17日の観察では、調査区1の2個体では、ほぼ全面に重油の付着した葉が多かったが、それらに落葉、枯れなどの変化は見られなかった（写真11-1）。また、調査区2の個体では葉の一部に枯れが観察された。しかし、ハマウドと同様に重油の付着部分から枯れが広がっていないこと、また、重油の付着がなかった個体にも同様の枯れが見られたことから、重油の付着と枯れの関連は低かったと考えられる。



写真11. 重油の付着したマルバシャリンバイの変化（調査区1）.

11-1：重油の付着（1997年2月8日）；11-2：新葉の展開（1997年4月24日）；
11-3：開花（1997年5月12日）；11-4：赤く色づいた果実（1997年9月11日）；
11-5：黒く熟した果実（1998年1月8日）

3個体ともに、4月24日には新葉の展開（写真11-2）が、5月12日には開花が（写真11-3）観察され、9月11日には果実が赤く色づき始めていた（写真11-4）。また、同日に、調査区2の標識個体から上面の半分以上にペースト状の重油が付着した葉を3枚採取し、カッターナイフで重油を除去したところ、その部分は緑色を保っていた。そして、1998年1月8日には、3個体とも果実が黒く熟していた（写真11-5）。汚染を受けた時点で付いていた葉は、その多くが落下していたが、中には重油が付着した葉も残っていた。

ハマボックス

標識した時点で、5個体ともロゼット葉の50%以上に重油が付着していた（写真12-1）。そのうち4個体については、1997年3月17日には新葉の展開（写真12-2）、4月24日には茎の



写真12. 重油の付着したハマボスの変化（調査区2）.

12-1：重油の付着（1997年2月8日）；12-2：新葉の芽吹き（1997年3月17日）；

12-3：展葉（1997年4月24日）

伸長（写真12-3），6月10日には開花，および7月15日には結実が観察された。

植生の相観の変化および植物の個体追跡による観察で枯死または部分的または一時的に枯れた種・個体は確認されたものの，塩害，飛砂，高温，踏圧といった海岸近くの厳しい環境条件を考慮すると，ハマウドの場合を除いて，多くの場合は通常の範囲に収まるものと考えられる。

(2) 群落の種組成と分布

三里浜の調査区3の調査線では，重油の飛着のない，汀線より約50mの地点から植生が確認された．そこで記録された植物は計15種で（表1），これらのうち11種（73.3%）が，横山（1995）の報告と共通していた．出現しなかった種はハマウツボ *Orobanche coerulescens*，ハマハタザオ *Arabis stelleri* var. *japonica*，アレチマツヨイグサ *Oenothera biennis* の3種で，もともと被度の低い種であった（横山 1995）．逆に，新たに記録された種はアメリカネナシカズラ *Cuscuta pentagona*，コマツナギ *Indigofera pseudo-tinctoria*，クズ *Pueraria lobata*，アメリカセンダングサ *Bidens frondosa* の4種であった．また，汀線側から順に，コウボウムギ，ハマヒルガオ，ハマニガナ *Ixeris repens*，ネコノシタ，ハマゴウ，カワラヨモギ，チガヤ *Imperata cylindrica* var. *koenigii* が優占し帯状に分布していた．この分布は，横山（1995）の報告とほぼ同じであった（図4）．このように群落の種数，分布から明らかな変化は確認されなかった．



この調査区では、波浪によって打ち上げられた重油が植生域にまで及んでいなかったため直接の影響はなく、また、群落の種組成や分布に変化がほとんどなかったことより有害揮発成分による植生への影響もなかったと考えられる。

結 論

ナホトカ号沈没により流出した重油は生物に有毒な化学成分の最も少ないCタイプであり、また、座礁した船首部から流出した重油を除き、海岸に漂着した油のほとんどは流出から5日以上経ち、含まれていた揮発成分はほとんど蒸発し、さらに海水と混じりゲル化していた。そのため植物へ付着した時点で、すでに生物への毒性は低下していたであろう。

そして、海岸に漂着した重油は、そのほとんどは水域に留まり、陸上へはその一部だけが波浪によって打ち上げられるか、風によって飛ばされていた。さらに、漂着・飛着した重油は、その多くが初期において人間によって海岸から除去された。そのため、大量の重油が植生域に留まることはなかったであろう。

福井県における海岸植生は、波浪や潮風のために汀線からではなく、本来、数m以上の内陸に存在している。そのためマングローブ林などと違って大量の重油を被ることはなかった。砂浜でも波浪によって、せいぜい汀線から40mまでしか重油が漂着しなかったこと（図4）より、多くの海岸植物に大きな被害はなかったと考えられる。

重油の付着した植物においても、その時期が休眠期または低活性期の冬期であったことが影響を小さくしたものと予想される。そのため、多くの植物が、ほぼ正常な生活環を回復させていた。一斉枯死の起こったハマウドも、重油による影響よりも潮風害によって弱まった植物体が真菌類に感染されて生じたものと考えられる。

しかし、今回の植生への重油汚染の程度または影響は、油の種類、漂着場所、汚染の時期・期間、植生の位置などの点でいくつかの好条件が重なった結果であり、これら以外の場合は、顕著な被害や影響がでることが予想される。

謝 辞

現地の調査を福井県自然保護センターの間宮甫氏と小林則夫氏に、イオンクロマト分析を福井県環境科学センターの青山善幸氏に、真菌類の検出を福井県総合グリーンセンターの今井三千穂氏に協力してもらった。また、福井県自然保護センターの大迫義人博士には、結果の整理・分析について、およびかつ原稿を読んでいただき適切な助言をいただいた。ここに記して感謝する。

引用文献

- 福井地方気象台. 1997a. 福井県気象月報 平成9年6月（1997年）. 16pp. 福井地方気象台, 福井県.
- 福井地方気象台. 1997b. 福井県気象月報 平成9年9月（1997年）. 18pp. 福井地方気象台, 福井県.
- 福井県. 1978. 第2回自然環境保全基礎調査 特定植物群落調査報告書. 188pp. 福井県.
- 香室昭円・横山俊一. 1976. 雄島（福井県坂井郡）の照葉樹林および海岸草原の群落組成について. 福井大学教育学部紀要 第Ⅱ部（自然科学） 第26号:59-88.

- 幸喜善福. 1992. . 海岸林の環境保全の働きと評価 5. 飛塩防止. 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也 (編), 日本の海岸林 多面的な環境機能とその活用 (ソフトサイエンス社):317-325.
- 小田隆則. 1992. . 望ましい造成法と管理法 5. 生理・気象被害と防除技術. 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也 (編), 日本の海岸林 多面的な環境機能とその活用 (ソフトサイエンス社):441-454.
- 大畑純二. 1988. 島根県沖の日本海への廃油不法廃棄による海鳥への被害. Strix 7:299-300.
- 大畑孝二・根本智・村井雅之. 1993. 苫小牧沖重油流出事故による海鳥類への被害. Strix 12:214-218.
- 横山俊一. 1995. 三里浜砂丘 (福井市) の植生について. 福井大学積雪研究室研究紀要. No.2:9-17.
- 横山俊一・香室昭門 1985. 総合的自然観を育成するための野外観察指導の基本的視点と具体的計画について (2)雄島の照葉樹林を対象として. 福井大学教育学部附属教育実践研究指導センター紀要 第9号:139-145.
- 吉川賢・山本福壽. 1993. 乾燥地の自然と緑化 (II) -アラブ首長国連邦とカタールのマングローブ-. 日緑工誌 19(1):21-26.
- 吉川賢・山本福壽. 1995. 乾燥地の自然と緑化 (IV) -クウェートでの湾岸戦争の傷跡-. 日緑工誌 20(3):177-187.