

Huge oil spill accident and the environmental damages at Taean Peninsula, South Korea: Cleanup methods at sandy beach and rocky beach in January 2008

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-07-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00061663

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



韓国泰安半島における油流出事故による環境汚染 — 2008 年 1 月の砂海岸と岩海岸における浄化方法 —

田崎和江*・鈴木祐恵**・藤沢瑛子***

Huge oil spill accident and the environmental damages at Taean Peninsula, South Korea — Cleanup methods at sandy beach and rocky beach in January 2008 —

TAZAKI Kazue*, SUZUKI Sachie** and FUJISAWA Eiko***

Abstract The oil spill accident occurred when a Hong Kong-registered supertanker (Hebei Spirit) was rammed by a South Korean-owned barge that came unmoored from its tugboat in rough seas about 10 km off Mallipo Beach at Taean Peninsula, South Korea. The 3 kinds of oil spill accidents started at 7:00 on December 7th, 2007, when a tanker collided with a barge, and blackened once-scenic beach along South Korea's western coast, about 150km, southwest of Seoul. A total of 12,547 kl of both heavy oil and crude oil gushed into the ocean, more than twice as much as in South Korea's previous worst spill, in 1995. Local residents worked with about 8,800 peoples of volunteers, civil servants, police officers and military personnel, were engaged in the effort to clear away oil on the region's shores. The seafood, oyster farms and tourism industries in the Taean region have been devastated. Oil blanketed the sand of Mallipo Beach and the rocks of Euhang Beach at Taean Peninsula, South Korea, were studied on January 5-6th 2008, just after one month of the accident. Residents wore overalls, used shovels, buckets, adsorption mats, tatters, oil fences, hand-made adsorption roller, heated water at 50-70 °C washing bath, and high-pressured nozzle to clean up the oil muck. The purification of oil on the sand beach was made so quickly within one month in sandy Mallipo Beach, whereas abundant oil drops between rocks with oil slick on the seawater surface on the rocky beach in Euhang Beach still remain. The oil-contaminated hazard map by Marine Environmental Risk Assessment Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Korea, reported on December 18-19th, 2007.

In this study, on-site surveys for checking and observing the oiling condition have started on January 5-6th 2008 one month after the spill at Mallipo Beach and Euhang Beach. The values of pH and EC in two places indicated that the bioremediation process of oil took place under neutral conditions. The analytical data of volatile aromatic hydrocarbon concentrations for 0.5 l/min at two beaches indicated that the concentration of toluene is quite higher in the atmosphere than that of C typed heavy oil from the *Nakhodka* tanker in January 1997 in Japan. In particular, toluene concentrations were unbelievably 100 – 1000 times higher than those in the *Nakhodka* tanker accident in Japan.

They succeed to cleanup beach within one month by volunteer works of manpower, and keep the clean beautiful seashore. Furthermore, we must find new defensive measure systems which are safe, low cost, easy, and sustainable by using local natural materials without manmade chemical substances. It is right time to act locally in Asian countries and think globally about environmental seawater.

Key Words : Oil spill accident, environmental damages, Taean Peninsula in South Korea, Mallipo Beach, Euhang Beach, cleanup methods, sandy beach and rocky beach, Toluene

はじめに

2007 年 12 月 7 日午前 7 時ごろ、韓国の忠清南道泰安（テアン）郡の沖合約 10 キロの黄海上で、強風のため曳航が不可能になった三星重工業所属の大型海上クレーンがそばを航行中の香港船籍のタンカー「Hebei Spirit（へべい・スピリ

ッツ/146,000 トン）」に接触衝突し、タンカーから油が大量に流出する事故が発生した。流出した油は 12,547 kl (15,800 トン) におよび、韓国史上最悪の海洋事故となった。油は 12 月 8 日には泰安沿岸に漂着し始め、カキやノリなどの養殖業や天然の魚、海鳥、美しい国定公園や海水浴場、59 の小島などにも大きな被害を及ぼした。2008 年 1 月 5 日に

2008 年 2 月 13 日受付。2008 年 11 月 18 日受理。

** 北陸支部, 金沢大学大学院自然科学研究科 〒920-1192 石川県金沢市角間町 Kakuma, Kanazawa, 920-1192 Japan.

** 石川県立看護大学 〒929-1212 石川県かほく市中沼ツ7番1号 *** 北國新聞社 〒920-8588 石川県金沢市香林坊2丁目5番1号

Korea Ocean Research and Development Institute の韓国環境リスクアセスメント研究所 (Marine Environment Risk Assessment Research Div) の所長 Dr. W. J. Shim の情報によると、流出した油は Iranian heavy (イラン重油), Kuwait export crude (クウェートの輸出用原油), Upper Zakum (UAE の上部ザクム油田原油) の 3 タイプであることが判明した。この 3 種類のタンクから流出した油は、花崗岩、堆積岩、変成岩からなる小島やリアス式海岸を汚染した。汚染が最も深刻であった砂浜の万里浦海岸 (Mallipo Beach) には厚さ 30cm の重油が漂着し、韓国中からボランティアが集まり、干潮時の毎日約 6 時間の浄化作業を行った。約 8,800 名のボランティアは政府機関のみならず会社、研究所、地域のクラブ、女性組織などから参集し、ほろ切れの仕分け作業、炊き出し、海岸の清掃、岩石や岸壁の洗浄にあたった。2007 年 12 月 30 日には風雪が激しく、過労による老人一名が亡くなり、56 羽の海鳥が死んだ。また、2008 年になってから、漁業被害者 2 名が自殺した。この海岸一帯は 30-70m の深さがあり、潮流は南北に流れ、油は泰安半島の西側を覆い、カキ、アワビ、のりの養殖場にも流入したため、養殖業者の被害が大きく、補償問題にもなっている。この干潟における被害の拡大防止のために大量の人員や物資の投入が指示された。2007 年 12 月 8 日現在沿岸約 17km にわたり原油の帯が漂着し、地元漁民らが吸着マットなどを使っていち早く除去作業を行った。破損した 3 つのタンクの中の油を別のタンクに移すなどして流出は同日夜までに止まった。被害はおおよそ 300 億円といわれている。一方、泰安半島の南側の安眠島の海岸は軽微な汚染ですみ、北側のリアス式海岸をもつ加露林湾には汚染が及んでいない。また、12 月 30、31 日と 1 月 3 日には、カナダ (6 名)、ドイツ、アメリカ、韓国の 25 地域から約 50 名の科学者や専門家が現地を訪れ浄化計画会議をもった。2008 年 1 月上旬は天候に恵まれ浄化作業がはかどった。

石川県は、1997 年 1 月 2 日未明に島根県隠岐島沖の日本海で発生したロシア船籍のタンカー「ナホトカ号」の重油流出事故に際し、海岸約 240 キロにわたって大量の C 重油が漂着する被害を受けた。著者らはその事故直後から県内と周辺地域の環境調査、浄化活動を精力的に行い、土着の油分解細菌の力を利用することで化学薬品による二次汚染の恐れもなく、中長期的に環境浄化が進められるとの結論を導いている (Tazaki et al. 2006)。

韓国の「Hebei Spirit」事故に関して、日本では発生直後の数日間はメディア報道がなされたものの、被害状況に関する具体的な情報はほとんど伝わらなかった。流出した油が原油なのか重油なのかよく分からない状況であった。本研究において、著者らはナホトカ号重油流出事故の体験を教訓として早期の環境浄化を達するために、2008 年 1 月 5、6 日に泰安半島を訪れ、万里浦海岸と蟻項海岸の汚染調査を行った。

本研究では、この事故の汚染状況を報告し、1997 年のナホトカ号重油流出事故の時と比較検討した (田崎 1997 a, b,

c, d; 田崎・松本 1997; 田崎 1998; Aoki and Matsumoto 2003; Nishikawa et al. 2003; Tazaki 2003 a, b, c, d; Tazaki and her students 2003)。ナホトカ号の汚染浄化作業が 3-6 ヶ月もかかり、かつ、10 年たった能登海岸にはまだ部分的に重油が残っているのに対して、ナホトカ号の C 重油流出量 (6,240 - 8,660 kl) の 1.7 - 2.0 倍という韓国史上最大の事故にもかかわらず、1 ヶ月弱でほとんどきれいになった砂海岸・万里浦海岸がなぜきれいになったのか、その要因として考えられる浄化作業方法、ボランティア体制、社会的問題などを比較した。また、その浄化作業における地理、地形、気候、油の種類、浄化方法、ボランティア組織、環境教育について考察した。さらに、海に境はなく、海洋汚染は人類が力を合わせて解決すべき問題であるので、今後の問題点と提言を述べた。

現地調査および試料採取

現地調査

2008 年 1 月 4 日～7 日に、韓国ソウルの南西に位置する泰安半島 (Taean Peninsula) の砂海岸・万里浦海岸 (Mallipo Beach) と岩石海岸・蟻項海岸 (Euhang Beach) において、油流出事故の現場を調査した。韓国環境リスクアセスメント研究所の所長 Dr. Won Joon Shim の情報を基に、最も汚染が深刻であった両海岸について、目視観察、水質測定、気温測定、パーソナルエアーサンプラーによる揮発性物質の測定を行った。

試料採取

下記の測定のため現地の海水、油、砂、礫の試料を採取した (第 1 表)。

水質測定法

水質測定項目は pH と電気伝導度 (EC) であり、いずれも HORIBA カスタニャーメーターを使用した (第 2 表)。

大気中の揮発性芳香族炭化水素の測定

パーソナルエアーサンプラーは、Sibata Scientific Technology LTD の Charcoal Tubes 8015 - 0542 を使用した。活性炭チューブの両端をカットして吸引装置にセットした。この活性炭チューブはチューブ内の活性が二層になっており、20 ~ 40 メッシュの活性炭を前層に 400mg、後層に 200mg 充填してある。サンプリングの流量は 0.5 l /min、サンプリング時間は 10 分間とし、終了後チューブの両端にキャップを取り付け、帰国後直ちに分析を行った。分析項目は第 3 表の通りである。比較のために未使用の活性炭チューブも同時に分析を行った。測定時の日時、場所、気温、現地の写真を記録した。

漂着油の化学組成

漂着油中の揮発性芳香族炭化水素の濃度は、溶媒抽出ガスクロマトグラフィー質量分析 (選択イオン検出) 法により 2 試料について行った。分析はベンゼン、トルエン、 p^+m^- キシレン、 O^- キシレン、ナフトレン、フルオレンの 6 項目である (第 5 表)。

漂着油の蛍光X線分析(XRF)

採取した油の含有元素の定量分析は、日本電子製エネルギー分散型蛍光X線分析装置(JSM-3201), Rh-K α 線源を分析に用いた。加速電圧は30KVである(第4表)。

漂着重油の微生物による分解実験

漂着重油に微生物製剤ゲイト細菌(20g/L)と微生物活性剤(3g/L)を添加し、経過日数による油分含有量の変化を観察し、分析を行った。ガスクロマトグラフィーを用いてGC-FID法で総石油炭化水素量(TPH)を求めた。なお、コントロール試料として、微生物製剤や微生物活性剤を添加しない試料についても、1週間後(2008.2.26)、3週間後(2008.3.11)、6週間後(2008.4.1)に比較した(第7図)。

現地調査

現地の汚染状況

万里浦海岸には大量の原油と重油が漂着し、海岸壁150cmの高さまで黒い帯が認められた(第2図A, B, C矢印)。船着き場の岸壁や海の深い部分にはオイルフェンスと吸着マットが2-3重に設置されていた(第4図B)。岩石海岸の蟻項海岸は、岸壁にかこまれた狭い海岸であり、事故1ヶ月後でもかなりの重油が残っており、油の臭気も強かった。海岸際には油が打ち寄せられた黒い線が明瞭に残っていた(第5図A矢印, C矢印)が後方の松林までは及んでいなかった。また、吸着マットも漂着していた(第5図D矢印)。蟻項海岸は能登半島のアタケ海岸と地理・地形がよく似ており、油の汚染状況も似ていた。定置網にかかった大量の魚と56羽の海鳥が死んでおり、生きている鳥は油を取り除き、リハビリ中であった。環境浄化の際の化学薬品の使用については、ガイドラインで定められた通り沖合のみに散布し、沿岸においては薬品を使わず、文字通り人海戦術によって油を地道に取り除いているとのことである。輪島のアタケ海岸の海岸によく似た岩石海岸の入り江では、ボランティアが周辺の石を根気強く布で拭くという、ナホトカ号事故の際とまったく同じ光景が見られた。アタケ海岸では、最終的には付近の土壌を汚染された岩石の上にかぶせることで、土壌中の油分解細菌の働きで浄化が進んだことを確認している(Tazaki 2003d)。また、韓国での1995年に座礁したタンカーから約5,000klの油が流出し、沿岸が広範囲に汚染された事故や日本での1997年のナホトカ号の事故の教訓が今回生かされており、海岸近くでは界面活性剤の散布はまったく行われなかった。現地での油回収法と浄化作業

第1図に示したように汚染の程度を、汚染なし、微少、普通、深刻の4つの段階に分けて浄化作業が行われた。海岸壁や波消しブロックは高温高压ノズルで洗浄を行っていた(第2図B)。ボランティアにはマスクとテフロン製のつなぎの作業着が無料で供給されていた。学生のグループはオイルフェンスの油を拭き、タオルで油膜を吸い取っていた(第2図D, E)。銀行員の家族は海岸の岩石をゾウキンで拭き取って

試料番号	採取場所	採取月日 2008年	天気・気温	試料	備考	Fig.
1	万里浦海岸	1/5	快晴 8℃	油・海水混合	海岸波打ちぎわ	4A
2	万里浦海岸	1/5	快晴 8℃	砂・油混合	層状になっている古い油	
3	万里浦海岸	1/5	快晴 8℃	油混じりの石	灯台近くの油で真黒な石垣	2C
4	万里浦海岸	1/5	快晴 9℃	海水	灯台近くで油膜形成	6C
5	蟻項海岸	1/5	快晴 7℃	油	礫に付着した油	5A
6	蟻項海岸	1/5	快晴 7℃	油付着の石	角礫, 円礫	5B
7	蟻項海岸	1/5	快晴 7℃	油・海水混合	礫の間の油と海水	
8	蟻項海岸	1/5	晴れ 7℃	油まみれの粗粒砂, 礫	岩海岸・山ぎわ	5D
9	万里浦海岸	1/6	曇り 2℃	重油	ドラム缶底に溜まった重油塊	3A
10	万里浦海岸	1/6	曇り 2℃	細粒砂	砂浜のきれいな砂	

第1表 韓国泰安半島の万里浦および蟻項海岸における採取試料

Table 1 List of the samples collected from Mallipo Beach and Euhang Beach at Taean Peninsula, KOREA.

試料番号	試料採取場所	pH	EC (mS/cm)	採取月日 2008年
4	万里浦海岸の海水	7.2	43.9	1/5
7	蟻項海岸の海水	7.4	26.1	1/5
試料採取場所	pH	EC (mS/cm)	採取月日 2007年	
柏崎市大湊地区海水	8.2	43.5	7/21	
柏崎市荒浜地区海水	8.3	45.5	7/21	
柏崎市大湊地区(雨水)	6.2	0.0953	7/20	
金沢市金石町海水	8.3	37.5	7/27	

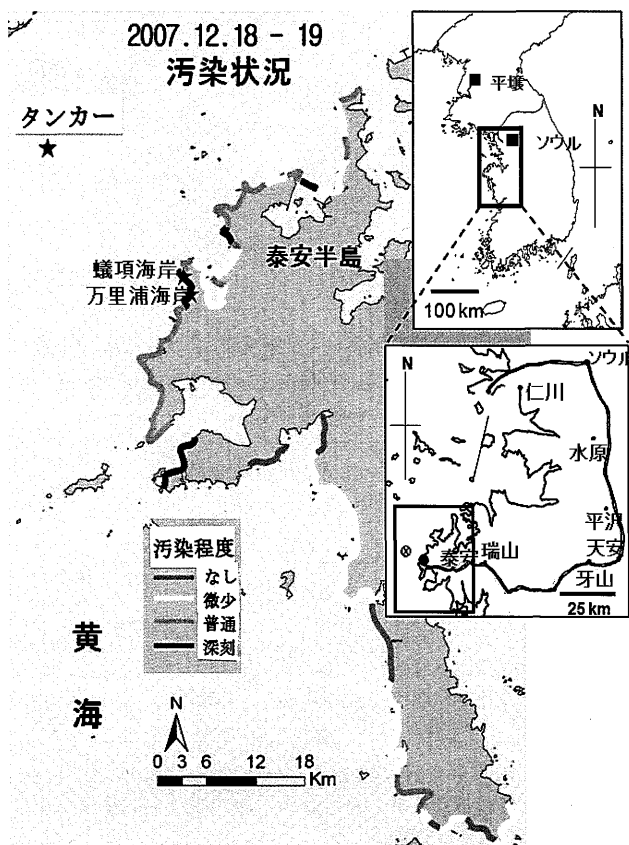
第2表 韓国泰安半島の万里浦海岸と蟻項海岸における海水の水質測定結果(試料番号は第1表と同じ)。新潟県と石川県周辺の日本海の海水測定結果との比較。

Table 2 The measurements of characteristics of seawater pH and EC at Mallipo Beach, compare with seawater around Niigata and Ishikawa Prefectures in Japan.

た(第2図F)。回収された重油(第3図A, inset), 海水(第3図B), オイルフェンス(第3図C), 吸着マット(第3図D)はプラスチックのコンテナに集められ、ナホトカ号の場合のようにドラム缶は使われていなかった。海岸の波打ち際には油の帯が打ち上げられていたが、手製の丸太に吸着マットを巻いたローラを牽引していた(第4図A矢印, C, D)。一方、岩石海岸では、ボランティアの手で角礫(第5図A, B), 円礫(第5図C, D)を一つずつゾウキンで油を拭いていた。

万里浦海岸際の空き地には、シャベルカーによる汚染岩石の洗浄が行われていた(第6図A, B)。シャベルカーの横には2m四方の温水(a)と冷水(b)の容器がおかれていた。汚染された岩石は、まず温水に投入され、油が浮上したところですくいとられ、油から分離した岩石は隣の冷水に入れて洗浄され、横のウエスに移され乾燥される(第6図B-c)。ナホトカ号の時に開発した<温海水法>がここでも使用されていたが、原理は同じである。その近くの海水にはまだ油膜が漂っていた(第6図C)。パーソナルエアサンプラーは腰につけ、吸引口はボランティアの口の高さにセットした(第6図D矢印)。カナダから重油汚染調査にきた研究者の家族も浄化作業に参加した(第6図D)。

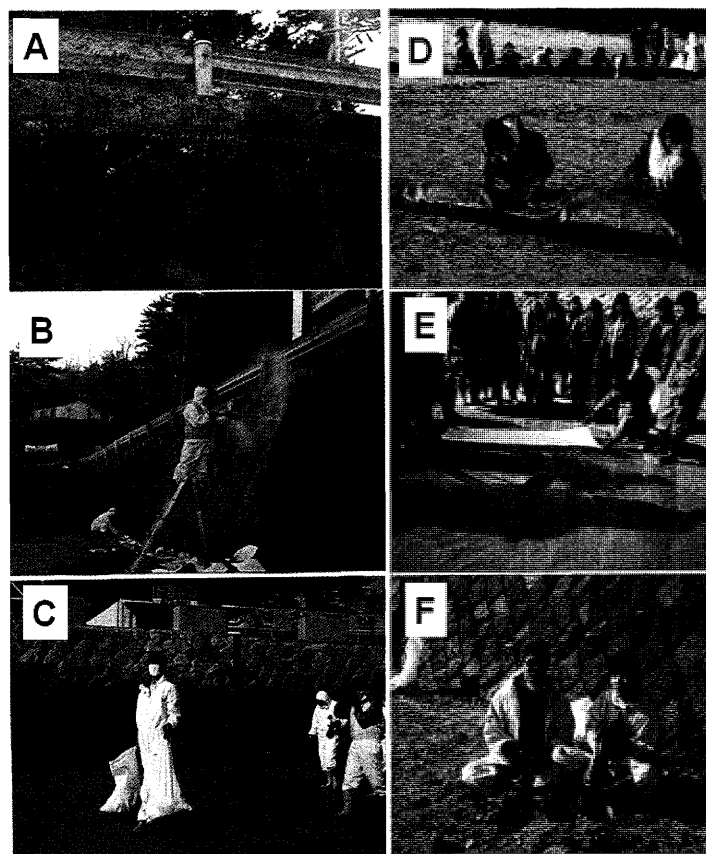
万里浦海岸際の空き地には、油除去作業がしやすいように、古着が集められ、山のような袋から布を取り出し、使いやすい大きさに切っている中高年の女性のグループが参加してい



第1図 韓国泰安半島、万里浦海岸の調査地域と油汚染状況 (2007年12月18～19日の韓国海洋環境リスクアセスメント研究所 Dr. W J Shim の調査による)

Fig. 1 Oil-contaminated hazard map by Marine Environmental Risk Assessment Research Div., Korea Ocean Research and Development Institute, KOREA in 2007.12.18-19. (after Dr. W J Shim in Marine Environment Risk Assessment Research Div.)

た(第6図E, F). その横にはボランティアのためにスコップ、ゴム長靴、ゴム手袋、軍手などが整理・整頓されており、無料で配布されていた(第6図G, H). 干潮から満潮に変わる昼頃には作業を終え、作業に使った用具の汚れを取り、翌朝6時からの作業に備えているボランティアの姿もあった。

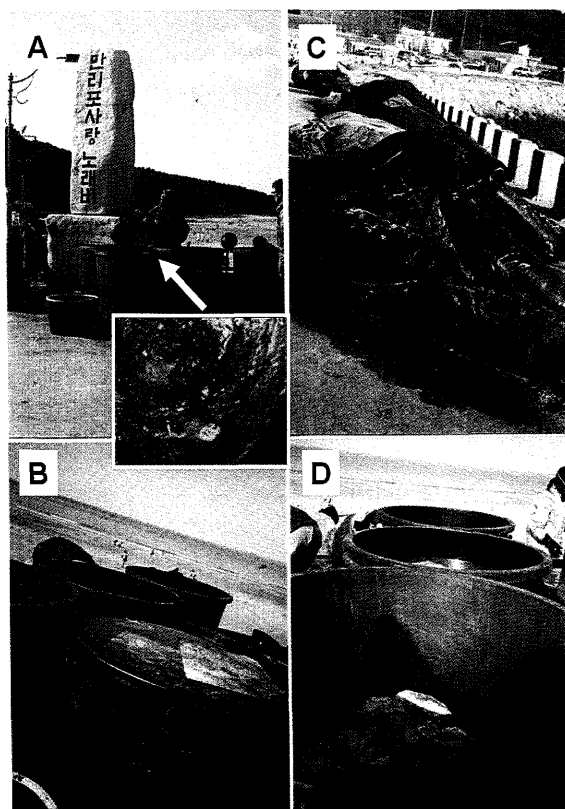


第2図 韓国泰安半島の万里浦海岸における油除去作業 地域住民、軍隊、警察、ボランティアが原油および重油を剥ぎ取り、拭いて除去している (2008.1.5撮影)

A; 海岸壁の石垣やガードレールが油まみれである, B; 高温、高圧ノズルによる油の除去作業, C; マスクをしたボランティア、海岸壁の石垣の黒色部分まで油が来たことを示している(矢印). D; オイルフェンスの油汚れを雑巾でふき取っている若いボランティア, E; 海岸の水溜りの油膜をタオルで吸い取っている若者のグループ, F; 油まみれの礫を雑巾でふき取っている銀行員ボランティア。

Fig.2 Local residents, soldiers, police men, and volunteers removing, scraping away and scooping up crude oil spilled on Mallipo Beach of Southwest of Seoul in January 2008.

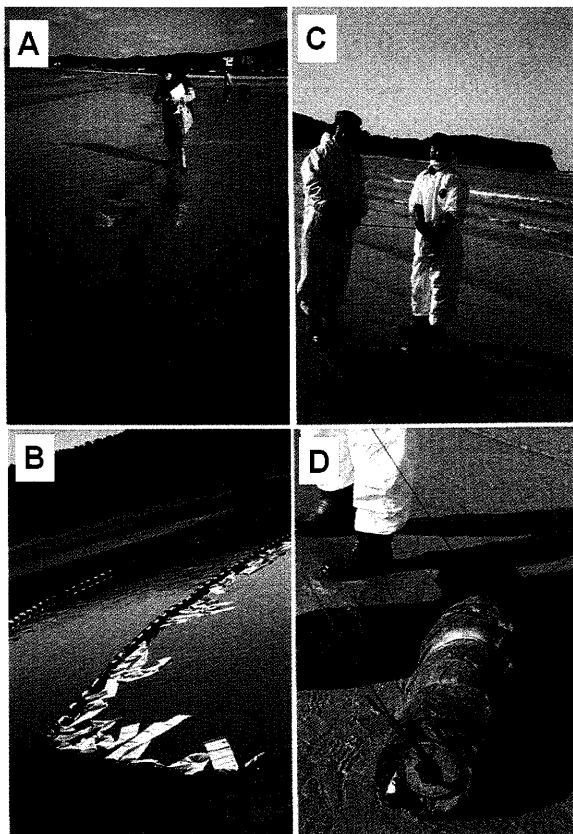
The spill is the worst in South Korea history, a disaster for the environment and local economy.



第3図 韓国泰安半島の万里浦海岸における油、海水、吸着マット等の捕集容器 (2008.1.5撮影)

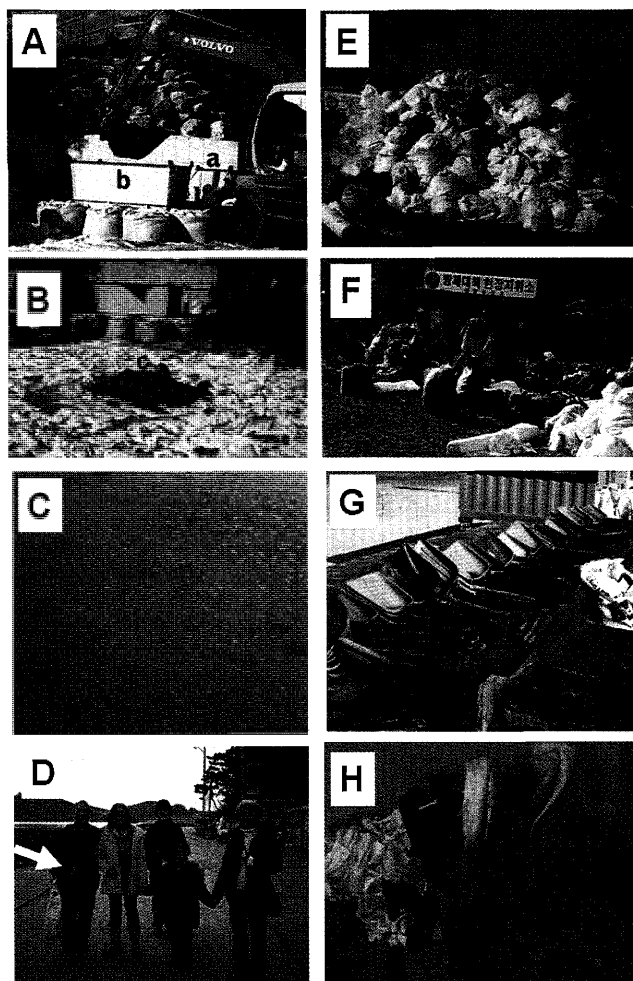
A; 地域のボランティアがバケツから油を容器に移している; 容器の中の真っ黒な重油(右下すみ), B; 油混じりの海水と吸着マット, C; 油まみれのオイルフェンス, D; 油を吸着したマットを入れてある容器。

Fig.3 Local residents dump dense crude oil retrieved from a beach into a jar at Mallipo Beach in January 5th 2008, showing oil fences and adsorption mats covered in crude oil take refuge.



第4図 韓国泰安半島の万里浦海岸における油膜の波打ち際 (A 矢印), 黄色のオイルフェンスと白色の吸着マット (B), 吸着マットを木に巻きつけた手製のローラ (C, D).

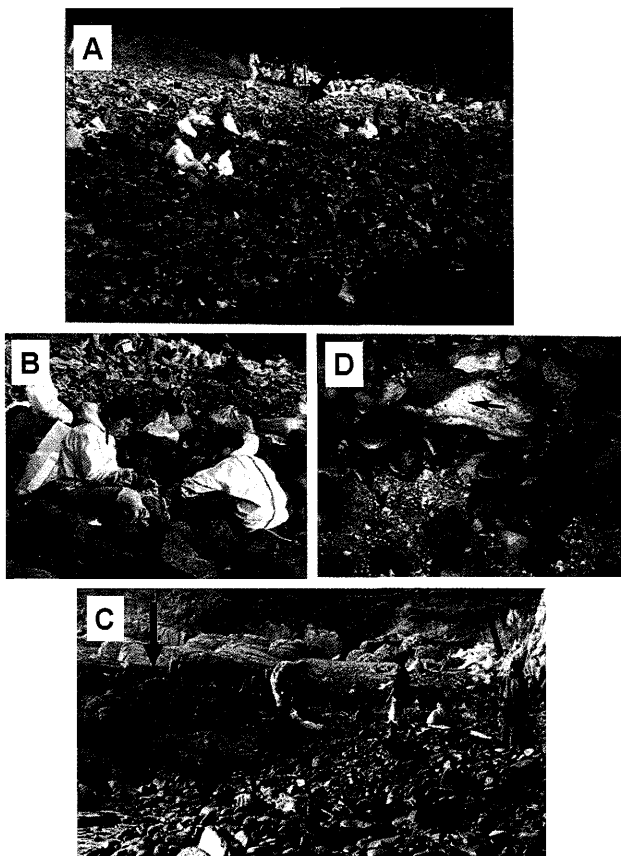
Fig.4 Volunteers try to soak up crude oil on a beach of Mallipo, using hand-make adsorption mats and roller.



第6図 韓国泰安半島の万里浦海岸における岩石表面の油の除去作業をするシャベルカー (A, B), 油膜が浮いた海水 (C), パーソナルエアサンプラー (D 矢印) をつけた調査団とボランティアのカナダ人家族 (D), 油除去作業に使用した布切れ (E), 布切れの仕分け作業をする中高年ボランティア (F), ボランティア用のスコップ (G), ボランティア用のゴム手袋と軍手 (H) が整頓されている. 中高年のボランティアは軽作業を, 若者は力仕事を分担している.

a; 50 ~ 70℃の温水槽 (油を浮上させる), b; 冷水槽 (油を取り除いた岩石を洗う), c; きれいになった岩石の水を吸い取る白い布地.

Fig.6 Company volunteers washing away crude oil from rocks beside the beach of Mallipo, using heated water at 50 ~ 70℃ (a) and cold water (b) by shovel car (A). After washing, cleaned rocks dry on rag (c in B). Oil slick on the sea water surface (C) and personal air sampler (D, an arrow) for measurement of volatile aromatic hydrocarbon concentration in the air. Canadian volunteers helped us for our survey in this area. Mountainous rags (E), shovels (G), and rubber gloves and cotton work gloves (H). Middle aged volunteers try to sort through rages and set up wipe towels (F) without manual labor. Only young volunteers share with manual labor on the beach.



第5図 韓国泰安半島の蟻項海岸における角礫 (A, B) と円礫 (C, D) の表面を覆っている油除去作業. 一個一個の岩石の油を雑巾でふき取っている若者達. 油汚染のライン (矢印) が明瞭である

Fig.5 Young volunteers try to wipe over oily surface of rocks one by one at Euhang Beach, Taean Peninsula, KOREA. Oil polluted line indicated by arrows.

	No.	試料名	成分名					
			Benzene	Toluene*	<i>p</i> - <i>m</i> -Xylene	<i>O</i> -Xylene	Naphthalene	Fluorene
空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	T-1	23	[460]	4	<3	<3	<3
	2	T-2	<8	[1300]	<8	<8	<8	<8
	3	T-3	<8	[1100]	<8	<8	<8	<8
	4	T-4	<8	[1300]	<8	<8	<8	<8
	5	T-5	<8	[1600]	<8	<8	<8	<8
	6	S-1	24	[550]	5	<3	<3	<3
	7	S-2	<8	[1600]	<8	<8	<8	<8
	8	S-3	<8	[1300]	<8	<8	<8	<8
	9	S-4	<8	[1700]	<8	<8	<8	<8
	10	S-5	<8	[1400]	<8	<8	<8	<8

*: Toluene はチャコールチューブ2 段目も1 段目と同様に検出され破過が見られたため、これは参考値である。

No.	試料名	測定時間 2008/1/5	天気・気温	環境	Fig.
1	T-1	8:00~ 8:30 (30分)	快晴 2°C	万里浦海岸近くの道路・食堂の中	
2	T-2	11:50~12:00 (10分)	快晴 8°C	万里浦海岸道路わきで砂・油の混合した海水をバケツに入れ布にしみこませ攪拌・分離	3A, B
3	T-3	12:55~13:05 (10分)	快晴 6°C	万里浦海岸近くの道路わきに雪の塊 石垣は油で真っ黒に汚染, オイルフェンス近く	3C
4	T-4	16:00~16:10 (10分)	快晴 8°C	蟻項海岸, 大きい礫 (花崗岩)あり	5A
5	T-5	16:35~16:45 (10分)	晴れ 7°C	蟻項海岸汚染強く, 口の付近で採取	5C
6	S-1	8:00~ 8:30 (30分)	快晴 2°C	万里浦海岸近くの道路・食堂の中	
7	S-2	12:00~12:10 (10分)	快晴 2°C	万里浦海岸道路わきでボランティアが作業 砂・油の混合した海水を攪拌・分離	3A, B
8	S-3	12:57~13:07 (10分)	快晴 6°C	万里浦海岸のオイルフェンス近く	4B
9	S-4	16:00~16:10 (10分)	快晴 8°C	蟻項海岸, 大きな礫が海岸に沢山ある	5B
10	S-5	16:35~16:45 (10分)	晴れ 7°C	蟻項海岸の大きな礫の海岸. 布で油の除去作業をしている人のそば	5C

Site	Date (Y/M/D)	Time	weather	Atmospheric concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
				Benzene	Toluene	<i>p</i> - <i>m</i> -Xylene	<i>O</i> -Xylene
No. 1	97/1/30 - 2/1	Before noon	cloudy	1.02	2.06	0.85	0.29
No. 2	97/1/30 - 2/1	Before & afternoon	snow, cloudy	1.36	4.82	8.86	3.80
No. 3	97/1/31 - 2/1	Before noon	cloudy	1.15	2.22	1.16	0.41
No. 4	97/1/30	Before noon	snow	nd	11.70	33.84	16.32

nd ; not detected

参考文献 ナホトカ号重油流出事故による大気中の芳香族炭化水素濃度 (after Murahashi et al. 2003 の平均値)

第3表 韓国泰安半島の万里浦海岸および蟻項海岸におけるパーソナルサンプラーによる大気中の芳香族炭化水素濃度 (吸引の割合; 0.5 l / 分).

Table 3 Volatile aromatic hydrocarbon concentrations in the atmosphere at Mallipo Beach and Euhang Beach at Taean Peninsula, KOREA, using personal air sampler.

試料番号	採取場所	元素 (wt%)								
		Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Cr	Fe
5	蟻項海岸	1.066	1.767	11.592	83.556	nd	0.906	0.096	0.411	0.602
6	蟻項海岸	1.227	3.079	17.607	69.358	2.637	3.208	0.498	0.197	2.184
8	蟻項海岸	0.525	2.659	13.573	64.945	1.166	15.477	0.302	0.185	1.165
9	万里浦海岸	0.704	1.829	6.979	84.956	1.663	2.413	0.204	0.066	1.181

第4表 韓国泰安半島の蟻項半島と万里浦海岸において採取した油の蛍光X線分析 (試料番号は第1表と同じ)

Table 4 Energy dispersive X-ray fluorescent analyses (ED-XRF) of contaminated oil collected from Euhang Beach and Mallipo Beach at Taean Peninsula, KOREA.

Sample No.	Concentration ($\mu\text{g/g}$)					
	Benzen	Toluene	m^+p^- Xylene	o -Xylene	Napthalene	Fluoren
5 (Euhang)	5.8	2.4	<1	<1	<1	11
9 (Mallipo)	4.7	2.9	13	15	19	17
<i>Nakhodka</i>	8.8	120.0	43	88	408	126

第5表 漂着油中の芳香族炭化水素濃度（ナホトカ号のC重油と比較）

Table 5 Volatile aromatic hydrocarbon concentrations in the oil at Mallipo Beach and Euhang Beach at Taean Peninsula, KOREA, compare with the *Nakhodka* Tanker oil.

分析結果

2008年1月5-6日に万里浦および蟻項海岸で採取した試料とその時の気象条件を第1表に示した。1月5日は、天候は晴れ～快晴であり、気温は7-9℃、1月6日は曇りで2℃であった。両海岸の波打ち際の油や海水、ボランテアが作業を行っているところの黒色の油、古い油が層状に残っているところ、海水面の油膜、回収した黒色の漂着油などを採取した（第1表）。いずれもまだ揮発性物質による油の臭気が強く残っていた。黒色で粘性の高い油は重油、褐色で流動性のある油は原油と思われるが、しばしば混合した状態も認められその区別は難しい。試料を採取した現場の写真を表の右欄に示した。

水質測定

2008年1月5日に採取した万里浦および蟻項海岸の水質測定結果を第2表に示した。両海水のpHはいずれも中性の7を示し、ECは26-44 mS/cmを示した。一般海水のpHが8であることから、両海岸の海水は油汚染による影響と分解細菌の生息が示唆される。なお、2007年7月21日の新潟県および石川県の日本海沿岸における海水の水質測定値を比較のために併記した。海水はいずれも弱アルカリ性のpH8を示し、雨水のpHは6である。EC値はいずれも似た値を示している。

大気中の揮発性芳香族炭化水素の濃度

パーソナルエアースンプラーを用いた大気中の揮発性芳香族炭化水素の濃度を第3表に示した。試料T1とS1はいずれも食堂内における30分間の測定値であり、他の値は野外で10分間の測定値である。測定時間と天気・気温（晴れ～快晴、2-8℃）、環境および現地の写真を第3表に示した。野外におけるベンゼン、キシレン、ナフタレン、フルオレンの濃度はいずれも $<8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い値を示した。さらに、トルエンの濃度は検知管内の2層の活性炭をブレイクスルー（破過）するほどの高い値1100-1700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した（Mura-hashi et al. (2003) によるナホトカ号事故の大気中の芳香族炭化水素濃度の平均値を第3表の下に示した）。ベンゼン、キシレン、ナフタレン、フルオレンの濃度は一カ所を除いて

いずれも1-9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と一桁であるのに対して、韓国の事故はトルエンが非常に高濃度であることが特徴的である。なお、今回の韓国で使用したエアースンプラーはナホトカ号の時に使用したものと同一機器である。これらの高い値は揮発性の高い原油または油落としに用いた溶剤に起因すると考えられる。なお、日本環境省の2002年の大気中における最大濃度は85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。トルエンはシンナー（薄め液）の主な成分であり、空気より重いので、下方にたまりやすく、中枢神経へ悪影響を及ぼす。ボランテアが汚染現場で座って除去作業をする場合は、活性炭入りマスクの着用が必要であることを示している。

漂着油の蛍光X線分析

採取した油のNa以上の元素について分析結果を第4表に示した。現地で採取した4カ所の油の化学組成はいずれもSの含有量が原油特有の65-85wt%と高い値を示した。また、Siは7-18wt%、Al 2-3wt%、K 1-3wt%を示し、粘土鉱物などのケイ酸塩鉱物の混入を示唆し、Mg 1wt%、Ca 1-1.5wt%は海水が油と混合したエマルジョンの状態を示唆している。さらに、ナホトカ号のC重油中にも多量のSとともにSi、Cl、K、Caが認められ、微量のTi、Cu、Znなどの重金属も検出されていることから、Ti、Cr、Feの微量元素（0.1-2wt%）は原油や重油の中に含まれる不純物であると考えられる。

漂着油の中の揮発性芳香族炭化水素の濃度

蟻項海岸（試料5）と万里浦海岸（試料9）において採取した漂着油の分析はベンゼン、トルエン、 p^+m^- キシレン、 o -キシレン、ナフタレン、フルオレンの6項目について行った（第5表）。いずれの揮発性芳香族炭化水素の濃度も1-2桁であり、ベンゼンを除いて、万里浦海岸（試料9）の方が高濃度であった。ナホトカ号のC重油と比較すると、ナホトカ号の方が2-50倍高く、特に、トルエン、ナフタレン、フルオレンが顕著である。すなわち、エアースンプラーによる高濃度のトルエンの起源は油中のトルエンではないことを示している。

漂着油の微生物による分解速度

漂着重油に微生物製剤ゲイト細菌（20g/L）と微生物活性剤（3g/L）を添加し、1週間後、3週間後、6週間後の油分含有量の変化を分析した（第7図）。 $C^{12}-C^{28}$ の軽油の炭素範囲が大半を占めており、 C^6-C^{12} はガソリンの炭素範囲である。初期濃度100mg/Lに対して、微生物処理した試料は1週間後72mg/L、3週間後55mg/L、6週間後<30mg/Lと減少した。また、コントロール試料と比較して、微生物処理した試料のTPH濃度（mg/L）は1週間後は100:72、3週間後は100:55、6週間後は100:<30となり、日数が経過しても低沸点側でのピークが確認できた。高炭素数の物質が微生物により分解されて低炭素数（低沸点）となり、揮発することによって油分濃度が低下してくるが、この結果は、軽油相当成分に対して、微生物による油分分解処理効果が期待できることを示している。

考察

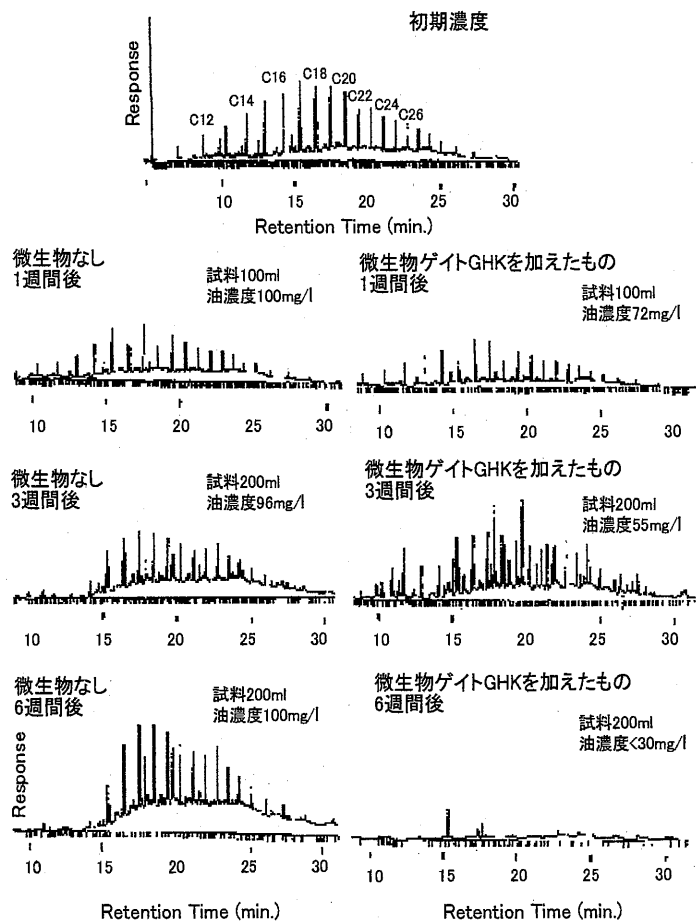
汚染状況と早急な浄化活動の要因

事故発生後一カ月が経った泰安半島の海岸は、予想以上に浄化が早く進んでいた。遠浅の砂浜・万里浦海岸には、干潮の時間帯を狙って早朝から大勢のボランティアが集まり、揃いの作業着を着て汚染された海水や砂から油を分離する作業をおこなっていた（第2-6図）。韓国では1995年に起きた原油流出事故「シープリンス号事故」を教訓にボランティアの組織や浄化活動のガイドラインが整備されている。しかし、政府、自治体、民間ボランティア、大学などの学術機関が縦割り連携が取れておらず、ナホトカ号事故で我々が直面したのと同じ問題を抱えている。著者らは土着の石油分解菌を利用したこの浄化方法が、中長期的に見れば最も環境に適していると考えている。今回の調査で、韓国もおおむね同じ方向性をもっていることが確認できた。持ち帰ったサンプルを分析・観察した結果を、世界に広く伝えていくことが急務である。

1997年1月2日に日本の福井県三国海岸から石川県能登半島を汚染したナホトカ号重油流出事故の場合と今回の韓国史上最悪の油流出事故を比較すると、ナホトカ号の汚染浄化作業が3-6ヶ月もかかり、かつ、10年たった能登海岸にはまだ部分的に重油が残っているのに対して、ナホトカ号のC重油流出量（6,240-8,660 kl）の1.7-2.0倍という韓国史上最大の事故にもかかわらず、1ヶ月弱でほとんどきれいになった。韓国の浄化作業がなぜ早急な対応ができたか、その要因について考察した。

地理・地形条件

韓国は国土面積が小さいため、首都のソウルに住んでいても日帰りで海岸を訪れ、浄化作業を手伝うことができる。宿の心配をしなくて良いことも大勢のボランティアが集まりやすい一因となっていた。さらに、年末の数日を除いておおむね好天に恵まれたことも、浄化作業がスムーズに進んだ大きな理由と考えられる。この好天はまた我々の調査にとっても幸運であった。韓国泰安半島は能登半島とほぼ同じ緯度に位置し、かつ、地理的条件や風光明媚な環境も良く似ている。例えば能登半島の千里浜海岸の2-3倍が万里浦海岸であり、輪島のアタケ海岸とほぼ同じ大きさの角礫と円礫（玉砂利）海岸が韓国の蟻項海岸である。両海岸は首都ソウルからバスや車で2時間という位置で、ボランティアにとってアクセスのよい場所であり、干潮時の6時間のみの作業を終えて日帰りができる距離であった。しかし、能登半島は福井、石川、富山県内はもとより関西方面からのボランティアは宿泊が必要であった。また、駅から現地までの輸送システムがなかったが、車の手配をスムーズに行えれば、地理地形条件に関わらず浄化作業に参加することが可能であった。



第7図 漂着油の微生物による分解速度

漂着重油に微生物製剤ゲイト細菌（20g/L）と微生物活性剤（3g/L）を添加し、1、3、6週間後の油分含有量の変化をガスクロマトグラフィーで分析した。

Fig. 7 The representative gas chromatograms of aliphatic compounds between control and bacterial weathered heavily oil after 1, 3, and 6 weeks.

天候・気象条件

韓国の場合、2007年12月7日の事故以来1月上旬まで、12月30日が風雪の悪天候であった他は晴天が続いた。気温はボランティアが作業をはじめの朝方が0-2℃、作業が終わる昼頃には8-9℃であり、風もなく外での作業は比較的楽であった。日本のナホトカ号の場合、1997年1月2日の事故以来、風雪の日が続き、気温も零度に近く、強風のため体感温度がさらに低く、過労のために数名が亡くなった。1997年2月8日ようやく青空が見えて空からヘリコプターによる調査ができた。また、回収した油の袋が悪天候のため海岸に放置されたままになり、数千の砂袋が再度荒波に飲み込まれた苦い経験がある。ナホトカ号の船首部分からの流出が1ヶ月以上続いたのに対して、韓国の場合、破損した3つのタンクの中の油を別のタンクに移すなどして流出は12月8日夜までに止まった。12月8日現在沿岸約17kmにわたり原油の帯が漂着したが、ただちに地元漁民らが吸着マットなどを使って除去作業を行ったことが、その後の作業を容易にした。このような早急な対応に加え、天候に恵まれたことが、事故から約1ヶ月で万里浦海岸から油が消えた大きな要因である。

流出油の種類

今回の韓国の事故はイランの重油、クエートの原油、ザクム地域の原油の3種類が流出した。ナホトカ号はC重油のみの事故であったため、一晩でエマルジョン化して粘性が増し、油回収機器がまったく使えなくなった。一方、韓国の場合は、揮発性の高い原油であったため、海上の強い風で流出の半分近くは揮発するとみられていた上、残りの油も流動性があり、布切れで拭くことによって容易に取り除くことができた。油膜も吸着マットやタオルで容易に吸い取ることができた。しかし、後述するように、その高い揮発性のために、除去作業者の健康が危惧される。除去作業に用いられたシャベル、長靴、ゴム手袋、カップ（テフロン製）に付着した油も原油が多かったために容易に取り除くことができた。ナホトカ号の場合は作業後、灯油をしみ込ませた雑巾などで拭き取ったが、ゴアテックスなどのカップについた重油は最後まで落ちなかった。

漂着油の除去方法

韓国の蟻項海岸は断崖に囲まれている狭い岩海岸であるため、機材の搬入ができず、すべてボランティアの手作業で、岩石を一個ずつ雑巾で拭く方法がとられていた。一方、広々とした砂浜の万里浦海岸ではボランティアの創意工夫で除去作業が行われていた。バケツ、スコップの他、吸着マットを丸太に巻いて、波打ち際の油膜を吸い取り、大きなバスタオルで油膜を取り除いていた。この海岸の波は穏やかなので、オイルフェンスと吸着マットを設置するだけでも十分拡散防止の効果がある。しかし、日本の場合、特に、志賀原子力発電所の周囲は5-6重のオイルフェンスを設置しても強風のため、オイルフェンスが浮き上がり、油膜が打ち寄せた。また、

三国海岸では一夜にして黄色いオイルフェンスが真っ黒なソーセージのようになり、海岸に打ち上げられていた。ナホトカ号のときに開発した<温海水法>（田崎 1997a）がここ韓国万里浦海岸で採用され、大量の汚染岩石がシャベルカーで処理されていた。海水の代わりに、50-70℃の淡水が使用されていた。岩石を一個ずつゾーキングで拭くのと違い、早く、大量に、よりきれいになっていた。また、海岸堀や消波ブロックに付着した油は高温高圧ノズルにより除去作業が行われていたが、事故1ヶ月後でも、未処理の場所が多く認められた。韓国では、まだ微生物を用いた浄化方法は取り入れられていなかった。ナホトカ号の時に明らかにされた、とりきれなかった油は韓国の土着の油分解細菌によって浄化されると考えられる。さらに、カオリンなどの粘土鉱物による浄化促進効果も期待される（Asada et al. 2003; Chaerun and Tazaki 2003 a,b, 2004 a,b）。

ボランティアの組織化

ボランティアには無料で作業着が配布されていたが、これはフッ素樹脂加工がされており、油が落ちやすい優れたものであったが使い捨てだという。海岸の入り口には長靴や手袋、スコップなども並び、どれも無料で使えた（第6図）。身一つで来てもボランティアに従事できる環境が整っている。韓国の2つの海岸におけるボランティアの年齢が10代から40代と実に若く、いわゆる中高年はほとんど見かけなかった。海岸ベリで大量の古着を仕分けしている中高年の女性を見かけたのみである。若い両親が子供を連れてピクニックのように参加している姿も多く見かけた。小学生から大学生までがグループ単位で参加しており、かつ、銀行、研究所、警察、軍隊までが個人のボランティアとして休日にも作業に参加していた。作業に必要なものはすべて無料で貸し出しされ、ボランティアに参加しやすい体制が整っていることが円滑な浄化につながった。一方、ナホトカ号の時は過疎化が進んでいる能登半島では、高齢者が寒風吹きすさぶ中で除去作業を行ったのとは大きな開きがある。

浄化作業中の健康問題

今回の韓国の事故現場では活性炭マスクではなく普通のマスクを着用していた。環境省の化学物質の環境リスク評価第1巻によれば水からも容易に揮発するトルエンは、大気中へ排出され、化学反応によって分解し、1-3日で半分の濃度になる。また、水中に入ったトルエンは微生物によっても分解され、数日でその濃度は半分になる。さらに、トルエンは土壌中の微生物によっても分解されるが、土壌の深い層や地下水に侵入すると容易には揮発しない。ガソリン等にはもともと微量のトルエンが混ざっているが、性能を高めるプレミアムガソリンは、トルエンの含有量が多くなっている。特に、海鳥の救済作業を室内で行うときは、十分換気に注意が必要であり、室内のFA濃度は人体の健康への被害も報告されている（Tazaki et al. 2002）。また、ナホトカ号重油流出事故時の海面での多環芳香族炭化水素濃度が上昇し（千葉ほか

1997), 同時にC重油自体の芳香族炭化水素のnアルカン濃度も時間とともに変化した (Sampei et al. 2003). さらに, 重油流出事故現場において, 海浜植物の立ち枯れ現象の原因が芳香族炭化水素によることが実験により証明されている (Tazaki et al. 2003; 渡辺・田崎 1997). 今回の調査で採取した漂着油は, 事故後1ヶ月を経過しており, かつ, 原油であるために容易に早く揮発したと考えられる. 第5表に示したようにナホトカ号のC重油と比較し, 芳香族炭化水素濃度は非常に低い. しかし, エアースンプラーによる大気中のトルエンが破過するくらい高かったのは, 油そのものより他の原因, 例えば油落としに使っている溶剤の影響などが考えられる.

課題と提言

除去作業により取りきれなかった油の環境修復

泰安半島の岩石海岸である蟻項海岸には2008年1月5日現在, まだ大量の油が岩石表面に付着していた. ボランティアにより岩石を一個ずつゾーキンで拭き取る作業では完全に浄化できず, 取りきれなかった油は土着の微生物による浄化作用に期待される. ナホトカ号のC重油中にも各海岸ごとに球菌, 桿菌, 糸状菌, らせん菌などの異なるバクテリアが活発に増殖し, 重油を分解していた (俵・田崎 1997; 田崎・松本 1997; Tawara and Tazaki 2003). 岩石表面の重油分解細菌は持続性があり, 重油流出事故後9年経過すると揮発性物質は完全に蒸発し, かつ脱水し, 最終的には乾燥した無毒のパラフィンに変わることが知られている (Tazaki et al. 2006; 田崎 2007a, b). さらに, この分解細菌は芳香族炭化水素の分解のみならず, 含有する重金属をも取り除く作用がある (Wakimoto et al. 2003; Tazaki and Asada 2007). 一方, 重油分解細菌の活動を促進するものとしてカオリナイトなどの粘土鉱物が報告されている (Asada et al. 2003; Chaerun et al. 2002, 2003; Chaerun and Tazaki 2003 a,b; Chaerun et al. 2004 a,b; Chaerun et al. 2005). ナホトカ号重油流出事故の折りに, 玉砂利海岸が汚染された能登半島アタケ海岸では, 周辺の山土が被覆されたが, その山土の中の土壌細菌が重油を分解し環境修復を押し進めた. 海岸に肥料を散布する方法もあるが, 肥料のコスト, 運搬費, 富栄養化の弊害を考えると問題がある. 韓国の泰安半島の岩海岸は花崗岩, 堆積岩, 変成岩より構成されているのでその風化産物としてカオリナイトが豊富である. 今後, 安全で持続可能, 低コストの地元の土壌や粘土を使用する方法を提案する (Chaerun et al. 2005; 田崎 2007 a,b). 第7図に示したように微生物を添加することで, 6週間で浄化も可能であるが, その場合周囲の生態系の変化に注意する必要がある.

作業の安全性への提言

汚染が最も深刻であった砂浜の万里浦海岸には韓国中から約8,800名のボランティアが集まり, 干潮時の毎日約6時間の浄化作業を行った. このように晴天時であっても過労を防

ぐために, 作業時間を設定することが必要である. 韓国の場合, 原油が多く流出したことにより, 大気中のトルエンの濃度が日本の100 - 1000倍となった. 活性炭入りのマスクの着用と溶剤からの揮発性成分にも十分考慮が必要である. また, 多くの人々が作業する場所に, 大気中の揮発性ガスの自動測定装置を設置するとよい.

ボランティアの組織化に関する提言

1995年の阪神淡路地震のときにボランティア活動が普及したが, 1997年のナホトカ号ではその活動が種々の事情から十分に生かされなかった. さらに, 2007年3月の能登半島地震のときも, ボランティアの若者の姿は少なかった. ボランティアの組織化は地理的アクセスや気象の条件のみの違いであろうか. 著者の一人は金沢大学で教鞭をとっており, 地元の事故や災害のおりには必ず若者に声をかけるが, 積極的に出かける学生が年々減少している. 地球環境問題について教育, 研究するとともに地域貢献, 社会貢献の意識教育の必要性を感じる. 特に, 海には境がないので海洋汚染は人類が知恵と知識を出し合い, 意識教育と環境修復の研究が望まれる.

まとめ

2007年12月7日に韓国泰安半島沖で韓国最大の油流出事故が発生した. 3つのタンクから重油と原油が12,547kl流出し, 海岸一帯が汚染された. 万里浦海岸 (Mallipo Beach) には厚さ30cmの重油が漂着し, 汚染が最も深刻であった. 韓国中からボランティアが集まり, 干潮時に毎日6時間の浄化作業を行った. ボランティアは政府機関のみならず会社, 研究所, 地域のクラブ, 女性組織なども参加し, カップ, 手袋, 長靴など無料で貸与された. 作業中老人一名が亡くなり, 養殖業者が2名自殺した. 油流出後, いち早く住民の手で海岸に吸着マットが敷かれたのに加え, 天候も幸いし, ナホトカ号の約2倍の油流出量にも関わらず, 約1ヶ月ではほぼ砂海岸はきれいになった. その主な要因は, 漂着油の種類, ボランティアが参加し易い体制とアクセスのよさ, 温海水法などの除去方法などがあげられる. 本研究では, 事故発生から1ヶ月後の2008年1月5-6日に韓国泰安半島の万里浦海岸と蟻項海岸 (Euhang Beach) の汚染調査を行った. 現地の汚染状況とボランティアによる浄化作業の様子, さらに, 大気中の芳香族炭化水素の測定, 海水の水質測定, 重油の化学成分分析, 微生物による油分解速度について報告した. 1997年に日本で起きたナホトカ号重油流出事故の時と比較し, 韓国の場合, 大気中のトルエンの濃度が100-1000倍であった. しかし, 漂着油中のトルエン濃度は低く, 浄化作業などに使用された溶剤などの原因が考えられる. ボランティアの作業中の安全性と健康管理が必要である. 取りきれなかった油の環境修復やボランティアの組織化と安全性に関する今後の課題と提言を行った.

謝辞：韓国海洋環境リスクアセスメント研究所のDr. W. J. Shim 所長およびDr. U. H. Yim 主任研究員，ソウル大学名誉教授 Soo Jin Kim には現地の情報を提供して頂いた。金沢大学大学院早川和一教授にはパーソナルエアースンプラーのご指導を頂いた。インドネシア，バンドン工科大学のDr. Siti Khodijah Chaerun 助教授には重油分解細菌についてご教示頂いた。また，田崎研究室の馬場奈緒子，佐藤和也両氏には図表の作成でお世話になった。査読者の地研新潟支部の大河内 誠氏と匿名の査読者には，文章構成について有益なご助言をいただいた。以上の方々にお礼申し上げる。

文 献

- Aoki A, Tazaki K and Matsumoto K (2003) Fluorescence microscopic observation of beach sands and gravels contaminated by C-typed heavy oil remediation methods. In: Tazaki K, ed, Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 68-81.
- Asada R, Tanaka Y, Chaerun S K and Tazaki K (2003) Bioremediation of oil contaminated soils - cultivation experiments using an oil adsorption -resolution item "sponge". In: Tazaki K, ed, Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 337-351.
- Chaerun S K, Tazaki K and Asada R (2002) Microbial activities of hydrocarbon-degrading bacteria in heavy oil contaminated soil and seawater after 5 years bioremediation. *Memoirs of Division of Global Environmental Science and Engineering, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University*, 7: 11-27.
- Chaerun S K, Tazaki K and Asada R (2003) Double function of bentonite and kaolinite as adsorbents and "microbial growth-support media" for degradation of crude oil. In: Tazaki K, ed, Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 253-277.
- Chaerun S K and Tazaki K (2003a) Hydrocarbon-degrading bacteria in the heavy oil polluted soil and seawater after 5 years bioremediation. In: Tazaki K, ed, Water and Soil Environments: Microorganisms play an important role: Kanazawa University 21st-Century COE Program, 187-204.
- Chaerun S K and Tazaki K (2003b) Effect of kaolinite on microbial growth in high concentration of heavy oil. *Clay Science (Journal of Clay Science Society of Japan)*, 12:187-196.
- Chaerun S K, Tazaki K, Asada R and Kogure K (2004a) Alkane-degrading bacteria and heavy metals from the *Nakhodka* oil spill-polluted seashores in the Sea of Japan after five years of bioremediation. *Science Reports of Kanazawa University*, 49: 25-46.
- Chaerun S K, Tazaki K, Asada R and Kogure K (2004b) Bioremediation of coastal areas 5 years after the *Nakhodka* oil spill in the Sea of Japan: isolation and characterization of hydrocarbon-degrading bacteria. *Environment International*, 30: 911-922.
- Chaerun S K, Tazaki K, Asada R and Kogure K (2005) Interaction between clay minerals and hydrocarbon-utilizing indigenous microorganisms in high concentrations of heavy oil: implications for bioremediation. *Clay Minerals*, 40: 105-114.
- 千葉 仁・東房健一・田崎和江 (1997) 重油漂着地における海水中の多環芳香族炭化水素濃度. *月刊海洋*, 29: 608-613.
- Murahashi T, Kizu R and Hayakawa K (2003) Volatile aromatic hydrocarbon concentrations in heavy fuel oil and the atmosphere collected from seashores affected by an oil spill. In: Tazaki K, ed, Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 231-239.
- Nishikawa O, Sawano N, Hasegawa T and Tazaki K (2003) Various styles and long-term chemical changes of the heavy oil spilled from *Nakhodka*. In: Tazaki K, ed, Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 192-202.
- Sampei Y, Tazaki K, Obara T, TYoshimura T, Sawano N, Takayasu K, Izumi S and Tokuoka T (2003) Compositional changes of heavy oil and aliphatic hydrocarbon from the spilled *NAKHODKA* oil washed ashore at Fukui, Ishikawa and Niigata Prefectures, Japan. In: Tazaki K, ed, Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 174-191.
- 俵 健二・田崎和江 (1997) 重油のエマルジョン中で増殖するバクテリアの走査型電子顕微鏡観察. *月刊海洋*, 29: 577-580.
- Tawara K and Tazaki K (2003) Microorganisms living in emulsified heavy oil. In: Tazaki K., ed., Heavy Oil Spilled from Russian Tanker *NAKHODKA* in 1997, 309-315.
- 田崎和江 (1997a) 日本海重油流出事故に伴う汚染環境の緊急調査と復元に関する研究：特にC重油に汚染された砂礫の観察と重油の分離実験. *金沢大学大学院自然科学研究科地球環境科学専攻紀要*, 2: 71-75.
- 田崎和江 (1997b) 重油流出と海洋環境，富山湾に学ぶ会，富山市，1-7.
- 田崎和江 (1997c) 日本海重油流出事故に伴う環境汚染とその影響. *月刊海洋*, 29: 567-576.
- 田崎和江 (1997d) ロシア船籍重油流出事故の科学的視点と対応. *日本の科学者*, 33: 43-47.
- 田崎和江 (1998) 重油流出事故の環境影響調査，〈石川県ロシアタンカー油流出災害写真集〉，石川県，78-104.
- 田崎和江・松本和也 (1997) C重油に汚染された海岸砂の落射型蛍光顕微鏡による観察と環境復元法：C重油エマルジョン中の海岸砂およびバクテリア. *月刊海洋*, 29: 587-592.
- Tazaki K, Segawa S, Minami M, and Moriichi S (2002) Environmental survey of indoor Air pollution by Formaldehyde (FA) in Kanazawa, Ishikawa, Japan. *Aerosol Research*, 17: 284-290.
- Tazaki K and her students (2003) The environmental impacts on heavy oil spilled from the wrecked russian tanker *Nakhodka* attacked the coast of Hokuriku district, Japan in 1997. In: Tazaki K., ed., Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 1-46.
- Tazaki K, Aoki A and Watanabe H (2003) Electron microscopic observation on leaf-dead narcissuses by volatilized heavy oil in Anto, Mikuni, Fukui prefecture, Japan. In: Tazaki K., ed., Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997:

- Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 82-92.
- Tazaki K (2003a) Water and Soil Environments: Biological and Geological Perspectives. Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 401 p.
- Tazaki K (2003b) Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense. Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 440 p.
- Tazaki K (2003c) Water and Soil Environments: Microorganisms play an important role. Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 254 p.
- Tazaki K (2003d) Remember!! Heavy oil spilled from the wrecked Russian tanker *Nakhodka* attacked the coasts of Hokuriku district in 1997. In: Tazaki K, ed, Water and Soil Environments: Microorganisms play and important: Kanazawa University 21st-Century COE Program, 177-186.
- Tazaki K, Watababe H, Chaerun S K, Shiraki K and Asada R (2006) Hydrocarbon-degrading bacteria and paraffin from polluted seashores 9 years after the *Nakhodka* oil spill in the sea of Japan. *Acta Geologica Sinica*, 80: 432-440.
- 田崎和江 (2007a) ナホトカ号重油流出事故から10年, 私たちは何を学んだか? 海と空, 83: 3-5.
- 田崎和江 (2007b) ナホトカ号重油流出事故における重油分解細菌の研究結果. 海と安全, 532: 38-41.
- Tazaki K and Asada R (2007) Transmission electron microscopic observation of mercury bearing bacterial clay minerals in a small-scale gold mine in Tanzania. *Geomicrobiology Special Issue on Geomicrobiology Processes in Extreme Environments*. Ed: Hailing Dong and Chuanlun Zhang. 24: 477-489.
- Wakimoto R, Tazaki K and Aoki K (2003) Oil fixation by diatom cell in oily hot spring water - A clue to bioremediation, Part I. In: Tazaki K., ed., Heavy Oil Spilled from Russian Tanker "Nakhodka" in 1997: Toward eco-responsibility, Earth Sense: Kanazawa University 21st century COE Program: Kanazawa, Takakuwa Art Printing, 352-365.
- 渡辺弘明・田崎和江 (1997) 三国町安島にみられる植物の先枯れ現象. 月刊海洋, 29: 581-586.

田崎和江・鈴木祐恵・藤沢瑛子. 2009. 韓国泰安半島における油流出事故による環境汚染—2008年1月の砂海岸と岩海岸における浄化方法—. *地球科学*, 63, 29-40.

TAZAKI Kazue, SUZUKI Sachie and FUJISAWA Eiko. 2009. Huge oil spill accident and the environmental damages at Taean Peninsula, South Korea: Cleanup methods at sandy beach and rocky beach in January 2008. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, 63, 29-40.

要 旨

2007年12月7日7時ごろに韓国泰安半島沖10kmで香港籍タンカーの衝突事故が発生した。3つのタンクから重油と原油が12,547kl流出し海岸一帯が汚染された。万里浦海岸 (Mallipo Beach) には厚さ30cmの重油が漂着し汚染が最も深刻であった。韓国中からボランティアが集まり、干潮時に毎日6時間の浄化作業を行った。ボランティアは政府機関のみならず会社、研究所、地域のクラブ、女性組織なども参加した。また、12月30、31日、1月3日には、カナダ、ドイツ、アメリカ、韓国から約50名の科学者や専門家が浄化計画会議をもった。被害はおおよそ300億円といわれている。

本研究では事故発生から1ヶ月後の2008年1月5-6日に韓国泰安半島の万里浦海岸と蟻項海岸 (Euhang Beach) の汚染調査を行った。現地でのボランティア活動の様子、大気中の芳香族炭化水素の測定、海水の水質測定、重油の化学成分、微生物による油分解実験結果について報告し、1997年1月に日本で起きたナホトカ号重油流出事故の場合と比較検討した。ナホトカ号のC重油流出量の1.7-2.0倍という韓国史上最大の事故にもかかわらず、1ヶ月弱できれいになった砂海岸の浄化作業は驚異的である。早急な浄化作業の要因を考察し、今後の課題と提言を行った。