

海岸漂着重油の手作業による回収量の決定に関する研究 ナホトカ号重油流出事故の事例から

敷田麻実

(1997年12月3日受理)

The Statistical Analysis of Manual Removal of Stranded Oil Spills:
Lessons Learnt from Oil Spills Caused by Russian Tanker Nakhodka

Asami Shikida *¹

On 2nd January 1997, the Russian tanker Nakhodka, weighing 13,157 tons sank off Oki Island in the Japan Sea reportedly causing an oil spill of 6,240kl. A large amount of spilled oil drifted into the Japan Sea and in spite of offshore oil collection attempts, as a result of strong winds and rough winter weather, consequently vast amounts of this heavily emulsified oil washed up on shorelines. The oil spills had a serious impact both ecologically on the shoreline environment and economically on coastal activities such as fisheries and tourism. Great efforts were made to clean up the shorelines, chiefly by manual removal of the spilled oil. More than 200,000 local people, volunteers, public officials and self-defense force members participated in cleaning the polluted shorelines. However, in their haste to collect it quickly, they lacked the consideration to optimize their logistics and efforts. This study aims to estimate the parameters of oil removable, and to explain the framework in which those parameters work. The result shows that the amount of oil removed on a day correlates to the cumulative amount of oil removed and the number of people engaged in cleaning up on that day. The equation predicting the amount of oil collected calculated from the official reports of Ishikawa Prefecture is:

$$S=13.4827 E-0.03874 C+38458.1525 \quad R^2=0.918, F(2,34)=192.28, p<0.01$$

Where S=the amount of collected oil on a day (ℓ), E=the number of people engaged in cleaning up on a day, C=cumulative amount of oil removed (ℓ).

It is suggested from the above equation that it is possible to estimate the total amount of stranded oil that can be collected on a certain day, based on data collected in the first few days. It is also possible from this to calculate the number of people necessary to remove spilled oil at the most efficient rate. This will clearly be a great contribution to efficient manual removal of washed up oil spills in the future.

Key words: Coastal zone management, Russian tanker Nakhodka, Japan Sea, Oil spill, Volunteers, Environmental disaster

1997年1月に日本海沖合で沈没したロシア船籍のタンカー、ナホトカ号(13,157トン)から大量のC重油(以下、特に断りのない限り「重油」と表記する。)が流出した。重油は、漂流中に一部回収されたが、残りは本州日本海側1府8県の海岸に漂着して環境を汚染し、水産業や観光業のような沿岸域資源の利用者に多大な影響を及ぼした。各府県では、地元住民やボランティアらが漂着重油の回収に精力的に取り組んだ。しかし、各府県で重油事故対策の終結宣言が出た後も、海岸には重油が残留し、長期間にわたる悪影響が懸念されている。

本研究は、今回の重油流出事故で回収に参加した人員数と回収された重油量の記録から、回収量を決定する要因について分析し、重油回収努力の最適化に寄与することを目的とした。

重油流出事故の概要 1997年1月2日に日本海、隠岐諸島の北北東106kmで、ロシア船籍のタンカー、ナホトカ号が折損・沈没し、船体から6,240klにもものぼる重油が流出した。¹⁾流出した重油は、沈没しなかった船首とともに日本海を漂流したが、冬季の日本海の荒天に阻まれて、洋上での回収作業ははかどらな

*¹石川県水産課 (Fisheries Department of Ishikawa Prefecture, 2-1-1 Hirosaka, Kanazawa, Ishikawa, Japan 920-8580)

かった。また流出から1-2日のうちに海水を取り込んでムース状になった重油は、粘性とその量が非常に大きくなり、洋上回収をさらに困難にした。その結果、大量の重油が、船首部分とともに1月7日に福井県の三国町に漂着したのをはじめ、流出重油は本州日本海側の1府8県の海岸に広く漂着した。

石川県では、1月8日に県南部の加賀市に重油が漂着したのをはじめ、合計18市町の海岸に重油が漂着した。石川県の海岸線583kmのうち、重油が漂着した海岸線は約250km(43%)に及んだ(Fig.1)。海岸に漂着した重油は、潮間帯付近の環境を汚染し、岩礁海岸では冬季の磯での主な収穫物である岩のりの収穫をほとんど不可能にした。

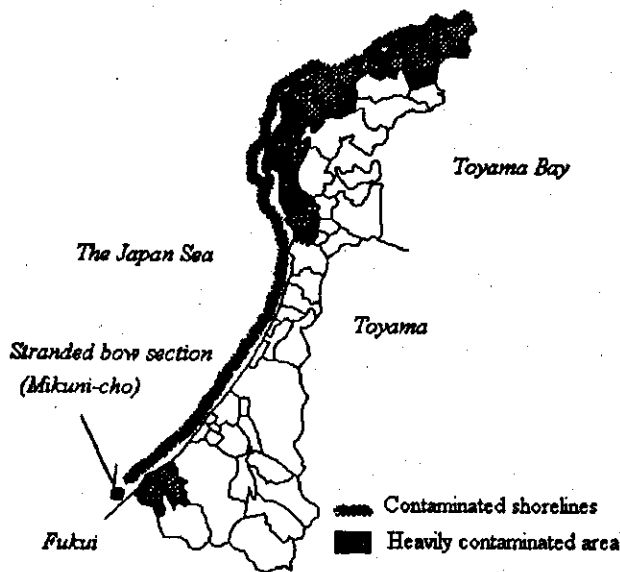


Fig. 1. Geographic description of oil contaminated areas.

重油回収の内容 重油の回収は、船舶を用いた海上作業と、漂着した海岸での作業に大きく分けられる。海上作業は、漁船・チャーター船舶・官公庁船などで、柄杓(ひしゃく)やざるを使う「すくい取り」や専用回収船・回収装置による機動的回収である。海上回収作業では、機材の機能や性能が回収量を大きく左右する。また海上であるので、天候の影響を受けやすく、悪天候で回収中止になることも多かった。さらに、地元住民やボランティアは、ほとんど参加せず、各対策本部による組織的な活動で行われるのも特徴である。

石川県では、海上で回収された重油が3,820.1kl(21%)であったのに対し、漂着した海岸で回収した重油が14,401.2kl(79%)と圧倒的に多かった。し

かし漂着重油は、流出から時間を経過してムース化しており、ポンプなどの機材はほとんど役立たなかった。また生態系への影響が不明確であるため、石川県は沿岸漂着重油に油処理剤を極力使わないように指導した。²⁾ その結果、石川県での漂着重油の回収は、スコップや柄杓で回収した重油を、バケツリレーで回収用ドラム缶まで運ぶ労働集約的な作業であった。

作業現場では、漂着した重油をすぐに回収しなければ、海岸の環境が重大な影響を受けると考え、またそうすべきだという専門家のアドバイスもあり、³⁾ 日本海側特有の厳しい冬季の気候の下でも回収作業が急がれた。しかし、早期回収を優先したため、回収作業の効率や資材・人員を最適に配置することについて検討されることは少なく、回収作業が最適化されていたとは考えにくい。またマスメディアが回収を「人海戦術」と呼んだように、人力による回収に頼らざるを得なかったため、回収の効率を考えるより、回収参加者の増員に努力が払われていた。回収参加者からは、漂着した重油をどこまで、どれだけ回収すれば作業が終了するのか、またどうすれば回収が早く進むのかなどについて疑問が出ることも多かった。

また石川県内で回収した重油の量は、海上と海岸を合わせてドラム缶約110,000本に達した。これは1府8県で回収した総重油量の53%にあたる(1997年5月16日現在)。⁴⁾

回収作業最適化の根拠 石川県での重油回収作業には、延べ204,921人が参加した。特にボランティアが回収参加者全体の40%近くを占めたことが特徴であった(Fig.2)。そして回収作業に対する彼らの直接的貢献に加え、ボランティアに参加することの社会的意義も強調された。そのため、ボランティアによる回収では、効率について考える必要はないとする意見も聞いたが、次のような理由から、本研究を進めた。第一にボランティアといえども、重油回収作業による海岸への影響が避けられない。貴重な海浜植物の生育地は、人間の歩行や運搬車輛の海岸への進入で重大な影響を受けるし、⁵⁾ 砂浜に生息する動物(例えばスナガニなど)にも同様のことが言える。

第二に、ボランティアの疲労や健康上の問題などを考慮する必要があるということである。⁶⁾ ボランティアの生命や身体の安全は最善の努力で確保されるべきであり、自己の意志で参加しているのであるから、安全や疲労防止のための効率など考えなくても良いとする意見には、著者は与しない。実際に石川県では、重油回収作業中のボランティア1名が死亡している。

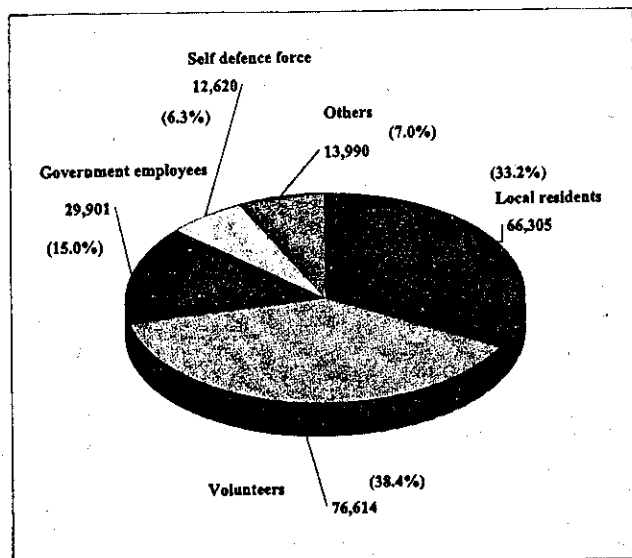


Fig. 2. Proportion of participants engaged in oil removal as of March 30, 1997.

Source: Ishikawa Prefectural Government.

第三に、総合的環境負荷を考慮する必要性である。重油の回収作業では、参加する個人ごとにゴム手袋・雨合羽・軍手などの石油系製品を必要とし、かつ使用した資材は重油汚れがひどく、再利用は難しい。再利用するにしても、灯油・洗剤・界面活性剤などによる洗浄が必要である。また回収現場へは自動車でアクセスすることがほとんどで、そのために燃料というエネルギーを消費する。このように重油の回収は「油で油をとる作業」であり、かかるコストや総合的な環境負荷を考えずに、徹底的に漂着重油を回収することが正

しい選択と結論することはできない。

分析の方法

分析の対象としたのは、石川県の海岸で行われた重油回収作業である。石川県では、回収が始まった1月8日から、市町の災害対策本部が回収参加者数や回収した重油の量を日別に集計・発表し、またその内容は県へも報告していた。本研究では、このうち組織的な回収がほとんど終了した1997年3月30日までのデータを採用した。

また本研究では、回収した重油の量を決定する回帰式のパラメータを推定するために、次のようなデータ集計方法を採用した。悪天候や現場の作業環境が悪い場合、各市町とも独自の判断で回収作業を中止している。そのため、隣同士の市町でも、回収実施と中止に分かれる日もあった。こうした差を解消するために、回収中止日のデータをスキップし、回収開始日から回収1日目、2日目というように、データを連続させた。漂着した重油の量は、回収作業を進めない限り減少しないと考えたからである。結果的に、各市町ごとのデータを集計する際に、回収開始日の異なりを補正し、回収日数と回収量の連続した変化を得たことになる。

なお本研究で用いた重回帰分析については、養谷⁷⁾および松原ら⁸⁾を参考にした。

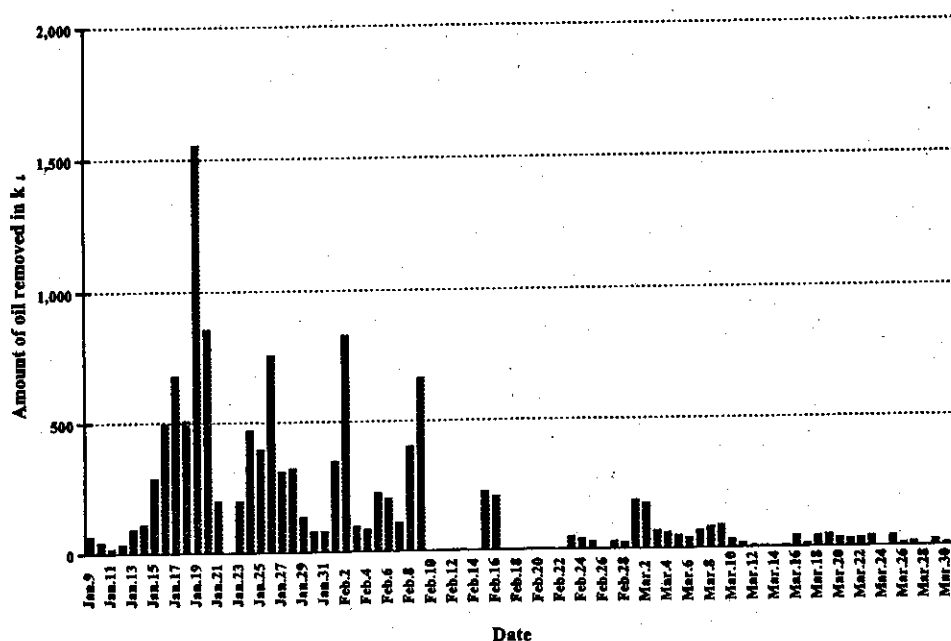


Fig. 3. Observed changes in the amount of oil removed manually in Ishikawa Prefecture. Source: Ishikawa Prefectural Government.

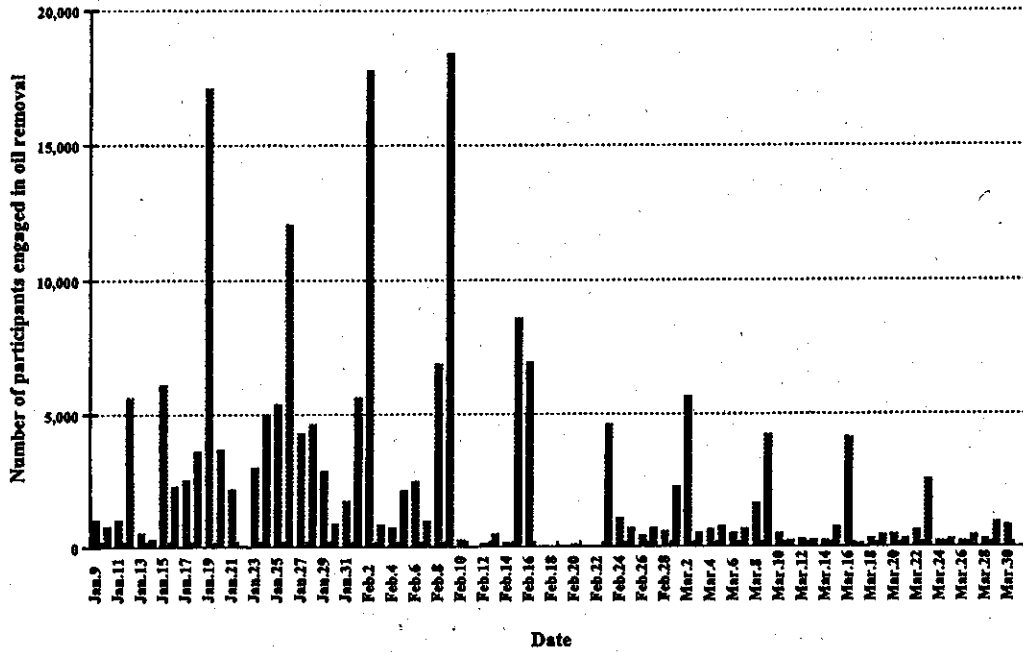


Fig. 4. Observed changes in the number of participants engaged in manual oil removal in Ishikawa Prefecture. Source : Ishikawa Prefectural Government.

結 果

回収作業と重油回収量の変化 重油の回収がどのように進められたのかを知る資料として、石川県全体の重油回収量 (Fig. 3) と回収参加者数 (Fig. 4), また重油回収量を回収参加者数で割った1人1日あたりの重油回収量の推移 (Fig. 5) を示す。

Fig. 3 と Fig. 4 から、回収参加者数が多い日と回収量が多い日が一致していないことがわかる。また1人

1日あたりの重油回収量は一定ではなく、何らかの要因で重油回収効率に変化していることを示している。単純に考えれば、これは、①回収参加者が多すぎても、空間に限りがある海岸の作業場所では、回収能率が低下する、②海岸の漂着重油が減少した場合には、回収よりも探索に時間がかかり効率が落ちる、などの理由をあげることができる。

次に、回収参加人数と毎日の1人あたりの重油回収量との関係を Fig. 6 に示す。石川県に最初に重油が漂

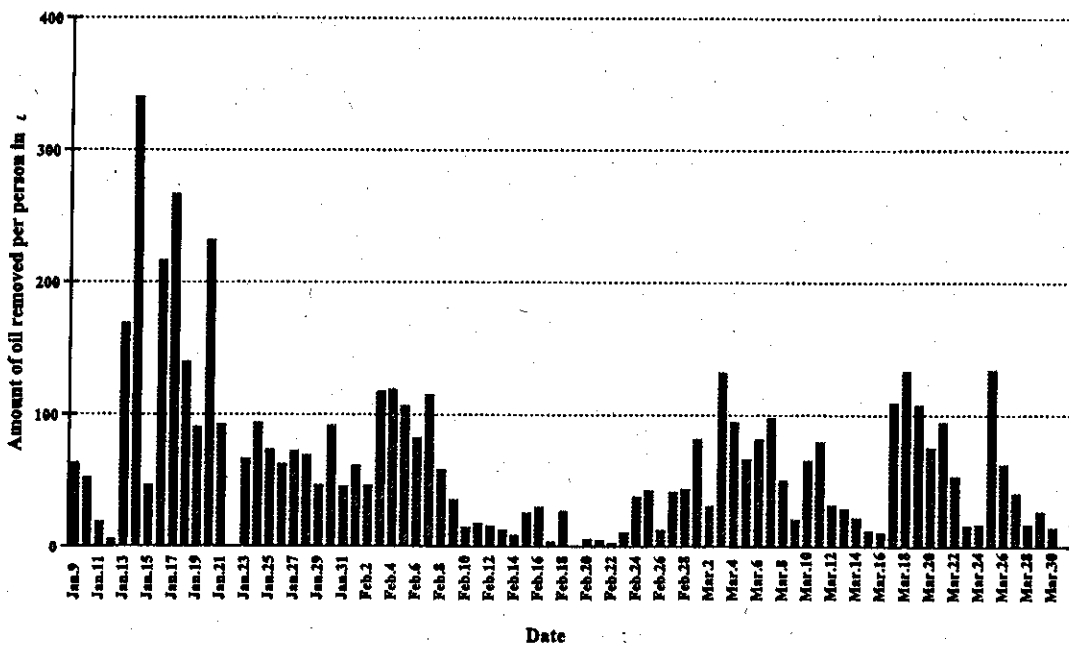


Fig. 5. Observed changes in the amount of oil removed manually per person in Ishikawa Prefecture. Source : Ishikawa Prefectural Government.

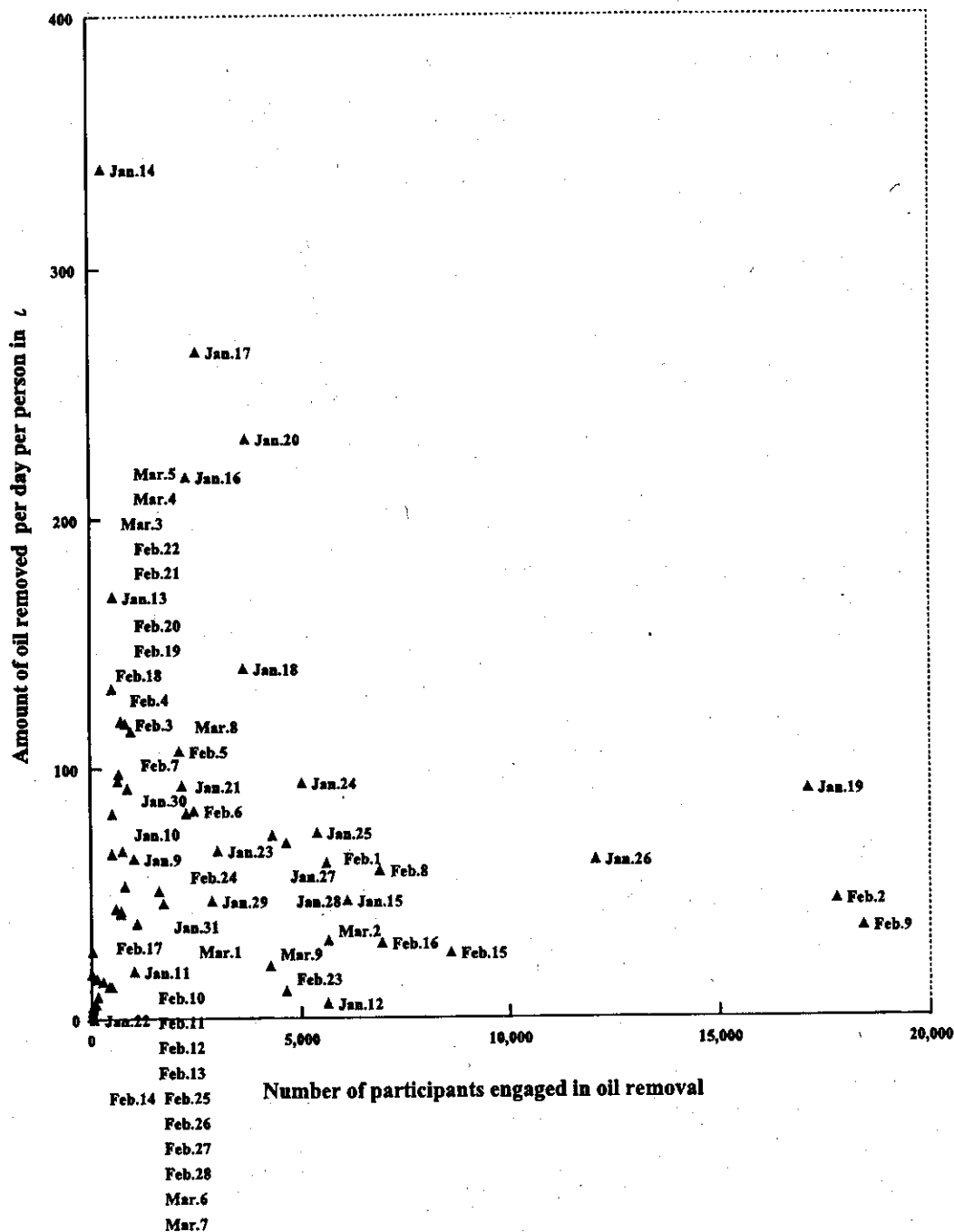


Fig. 6. The relationship between daily amount of oil removed manually and the number of participants engaged in removal in Ishikawa Prefecture. Source : Ishikawa Prefectural Government.

着したのは1月8日であり、その後、漂流重油の北上にしたがって、重油は県北部18市町の海岸にも漂着した。Fig. 6からわかるように、漂着直後の1月14・16・17・20日は1人あたりの回収量が多いが、回収が進んだ1月26日や2月2・9日では、1人1日あたりの回収量は少ない。特に、1人1日あたりの回収量が少ない1・2月の3日間は、いずれも週末で、回収参加者は多いが、回収量はそれに比例していない。

また1月19日は漂着から日数が経過していないに

も関わらず、1人1日あたりの回収量が少ない。これは、19日が日曜日で回収参加者が多く、重油残存量に対して参加者が多すぎたためと考えられる。それに加え、回収効率が低い(重油の分布密度が低い)砂浜海岸主体の9市町(松任市～羽咋市)の回収が初めて行われた日であり、いずれの市町も1人あたりの回収量は少なかった(1人あたり5.0～39.0ℓ)ことを反映したと考えられる。

全体的な傾向として、回収が進むにしたがって、1人1日あたりの回収量が落ちてきたことがわかる。そ

のため、回収が進んだ時には、多人数が回収に参加した日でも、重油回収量は少ないという結果になる。

重回帰分析による重油回収量の予測 前述したように、重油の回収量は単純に回収参加者が増えた分だけ増加するのではなく、重油の残存量と回収参加者数によって決定されると考えることができる。そこで、回収参加者数 (E) と、重油残存量 (R) によって、ある回収日の重油回収量を予測する重回帰モデルを考えた。

ただしこの分析では、重回帰分析の説明変数に、累積重油回収量 (C) と回収参加者数 (E) を用いた。累積重油回収量を用いた理由は次のとおりである。海岸での手作業による重油の回収では、海岸の重油量 (重油残存量) が少なくなるほど、単位面積あたりの重油の量が減り、回収が難しくなると考えられる。そのため重油の残存量を説明変数として利用することが考えられるが、重油の初期量がわからないので重油の残存量を推定することはできない。そこで、漂着した重油は可能な限り回収したと仮定し、回収が終了した時の回収総量 (T) を重油の初期量とする。つまりある回収日の重油残存量は、最終的な重油回収総量から、ある回収日までの累積重油回収量を引いたものである (つまり、 $R = T - C$)。しかし、重油回収総量は回収が終了するまでわからず、重油残存量を用いるのは現実的ではない。そこで重油残存量に代えて、累積重油回収量を用いた。

次に回収参加者数を説明変数に用いたのは、手作業による回収は、誰もが初めての経験であり、回収能率に差は少なく、回収量は回収参加者数に比例すると考えられるからである。天候や海象条件の変化によって、作業能率が必ずしも一定でないとする考え方もあるが、今回のデータは回収開始日から何日目という集計をしてあり、全体ではこのような影響を直接受けることはないと考えられる。

さらに著者の観察では、砂浜海岸と岩礁海岸では漂着状態が明らかに異なり、回収の状況も違っていたので、それを区別した。海岸を砂浜が主の市町 (小松市から羽咋市まで) と、岩礁が主の市町 (志賀町から珠洲市まで) に分けて、回収参加者数と累積重油回収量の2つの説明変数で、重油回収量を予測する重回帰分析を行い、回帰係数 (標準誤差) を推定した。

その結果、砂浜海岸では、次の重回帰式を得た。

$$S = 13.4827 E - 0.03874 C + 38458.1525$$

$$(11.01663) \quad (-3.06163) \quad (2.73434)$$

$$R^2 = 0.918, F(2, 34) = 192.28, p < 0.01$$

ここで、S はある日の重油回収量 (ℓ), E はその

日の回収参加者数 (人), C はその日までの累積重油回収量 (ℓ) である。

上記の式から、ある日の重油回収量は、累積重油回収量 (C) と回収参加者数 (E) で説明できることがわかる。決定係数が 0.918 と高く、回帰式の説明力は高い。また F 検定の結果から、この重回帰式は 1% の有意水準で採択できる。

またこの重回帰モデルによって得られる重油回収量の推定値と実測値を比較したのが Fig. 7 である。この図から、推定値が実測値によく迫っていて、説明力が高いことがわかる。ただし砂浜海岸での解析の場合、回収が安定していない回収開始日から 2 日間のデータは残差が大きいため削除した。

次に岩礁海岸では、次の重回帰式を得た。

$$S = 104.0676 E - 0.0267 C + 225937.022$$

$$(8.23913) \quad (-2.89675) \quad (2.57972)$$

$$R^2 = 0.776, F(2, 50) = 86.621, p < 0.01$$

やはり岩礁海岸でも、ある日の重油回収量は、累積重油回収量 (C) と回収参加者数 (E) で説明できることがわかる。決定係数は 0.776 とやや低いが、F 検定の結果から、この重回帰式は 1% の有意水準で採択できる。この結果から、砂浜海岸と同じように、回収参加者数が多いほど重油回収量は多くなるが、累積重油回収量が増加すると、つまり回収が進むと、回収量が減少していくことがわかる。しかし岩礁海岸の場合、回収参加者が 1 人増加することにより増えると期待される重油回収量は約 104 ℓ と、砂浜海岸の約 13 ℓ に比較して大きい。すなわち岩礁海岸では、重油回収量の増加に回収参加者数が大きく効いていることが示唆される。一方累積重油回収量が重油回収量に与える影響については、砂浜と岩礁海岸との間の差はほとんどない。

考 察

本研究は、ナホトカ号重油流出事故において、海岸漂着重油の回収参加者数と重油回収量の記録から、重油回収量を決定しているパラメータを推定して、回帰モデルを考えた。その結果から、単純に回収参加者が多いだけでは回収量は増加せず、残存する重油の量が関係していることが明らかであった。

漂着した重油を海岸環境に負荷をかけずに回収するには、油処理剤や温水・高圧洗浄機を使用せず、たとえ「人海戦術」であっても、現時点では手作業で回収することが最も望ましい。^{9~11)} そこで今後の重油回収でも、地元住民やボランティアの参加が求められるで

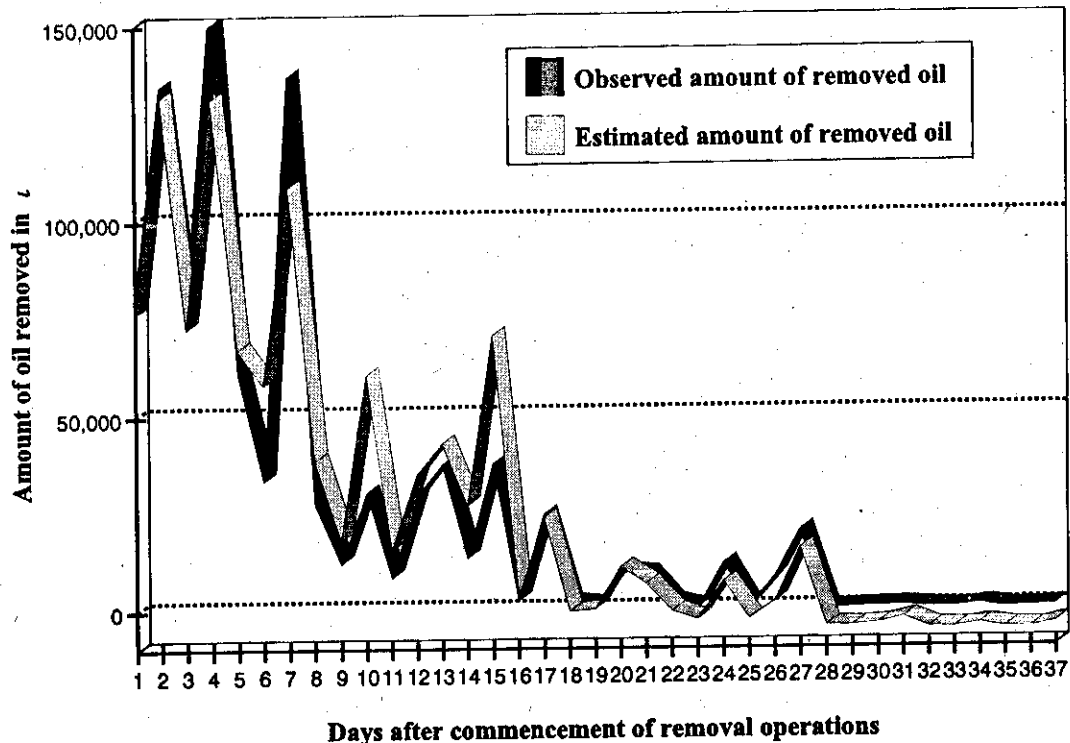


Fig. 7. Comparison of observed amount of oil removed manually at sandy beaches in Ishikawa Prefecture, and amount estimated using model equation.

あろう。こうした人々の努力を無駄にしないためにも、回収作業の効率化は必要であり、本研究の結果が利用できると思われる。

また漂着した重油のすみやかな回収は、重油の環境への影響を軽減するためには必要な措置である。しかし、回収作業最適化の根拠でも述べたように、その際に、回収参加者の生命や、身体の安全や、健康への配慮は最低限必要なことである。

そこで、本研究の結果をもとに回収目標量や回収作業の進捗度を回収参加者に示すことができれば、回収作業のめどを明らかにして、回収参加者の疲労や作業負担を軽減する効果があると思われる。

また、残存量を推定することで、ある回収日に最適な回収参加数を決定することが可能となり、地元住民やボランティアの参加者数の過多によって、海岸の環境に悪影響が出ることや、総合的環境負荷の増加を防ぐことができる。ナホトカ号重油流出事故対策では、このような回収作業の最適化が十分図られてはおらず、回収参加者の貴重な努力を効率よく回収量に反映させたとはいえないことも多くあった。今回の重油流出事故を教訓として、本研究のように回収作業の効率やその決定メカニズムを考慮することが、人的資源の浪費も生まず、効果的な対策につながると思われる。

謝 辞

データを提供していただいた石川県環境安全部消防防災課、および本研究に丁寧なコメントをいただいた石川県水産総合センター貞方勉研究主幹、大橋洋一専門員にお礼申し上げます。また研究に有益な示唆とご指導をいただいた、金沢大学経済学部の平館道子教授、佐々木雅幸教授に感謝します。

文 献

- 1) 坂場正保：ナホトカ号事故・流出油事故の概要と今後の課題。環日本海学会発表資料（1997年9月20日）松江市，（1997）。
- 2) 石川県：沿岸漂着油回収指針（てびき）素案 Ver1.2. 10pp.（1997）。
- 3) 徳田広：回収急がねば致命的。1997年1月10日毎日新聞，（1997）。
- 4) 石川県消防防災課：ロシアタンカー油流出災害の概要と対応について（1997年6月6日発表）。（1997）。
- 5) 財団法人国立公園協会：平成8年度ナホトカ号重油流出事故による海域・海浜生物等に関する調査（国立・国定公園内等の海岸）報告書。35pp.（1997）。

- 6) 石川県厚生部：重油回収作業に際しての健康上の注意事項の徹底について（1997年1月21日通知）。（1997）。
- 7) 養谷千風彦：回帰分析の話。東京図書株式会社，東京，1995，325 pp.
- 8) 松原望ほか：統計学入門。東京大学出版会，東京，1991，307 pp.
- 9) 石川県：沿岸漂着油回収指針（てびき）素案 Ver1.2. 10pp. (1997).
- 10) NOAA Hazardous Materials Response and Assessment Division: Shoreline Countermeasures Manual. 62pp. (1994).
- 11) Nordvik, A. B. : The Technology Windows-of-Opportunity for Marine Oil Spill Response as Related to Oil Weathering and Operations. *Spill Science and Technology Bulletin*, 2 (1), 17-46 (1995).