

PS12 沈船からの環境リスクとその対策技術

環境・エネルギー研究領域 *原正一、亀山道弘、樋富和夫、柴田清、宮田修、星野邦弘、桐谷伸夫、
山口良隆、間島隆博、篠野雅彦、山之内博
輸送高度化研究領域 島田道男、堀利文、疋田賢次郎
海上安全研究領域 小田野直光

1. はじめに

近年、欧州やアメリカ合衆国では、過去に沈没したタンカーからの油漏れが問題となり、残存油の抜き取り、あるいは船体の引き揚げが検討され、実際に作業が行われている。平成 14 年 3 月には、IMO (International Maritime Organization : 国際海事機関) の環境保護委員会 (Marine Environment Protection Committee: MEPC) の R&D フォーラムが開催され、沈船からの油回収のセッションでは各国の関心を呼んだ、特に、平成 14 年 11 月にスペイン沖で発生したタンカー「プレステイージ号」事故を契機に、沈船の処理に関する話題が急速に取りあげられるようになった。平成 17 年 5 月に米国で開催される世界最大の油流出会議 (International Oil Spill Conference : IOSC) では、油流出の可能性のある沈船に関する特別セ

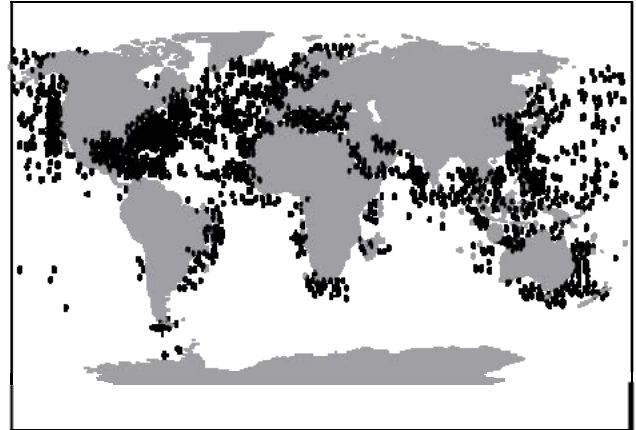


図-1 世界の沈船分布

表-1 世界の沈船残存油量の推定

(ERC International Marine Shipwreck Database)

船型	船数	推定残存油量	
		高推定	低推定
タンカー 150 GT以上	1,583	1460万トン	180万トン
非タンカー 400 GT以上	6,986	580万トン	72万トン
総船数	8,569	2040万トン	250万トン

ッション企画が予定されている。IMO では、1998 年に沈船撤去基準に関する規則の草案 (Draft Wreck Removal Convention: DWRC) をまとめたが、実効はあがっていない。

当所では、平成 16 年度より 3 年計画で「沈船の油流出のためのサルベージ技術に関する研究」において、主に沈船からの油回収技術についてのフィージビリティスタディを進めている。本報告では、この背景と今後の研究について述べる。

2. 沈船分布と残存油量の推定

世界中には、8,500 隻以上の沈船(タンカー150 トン

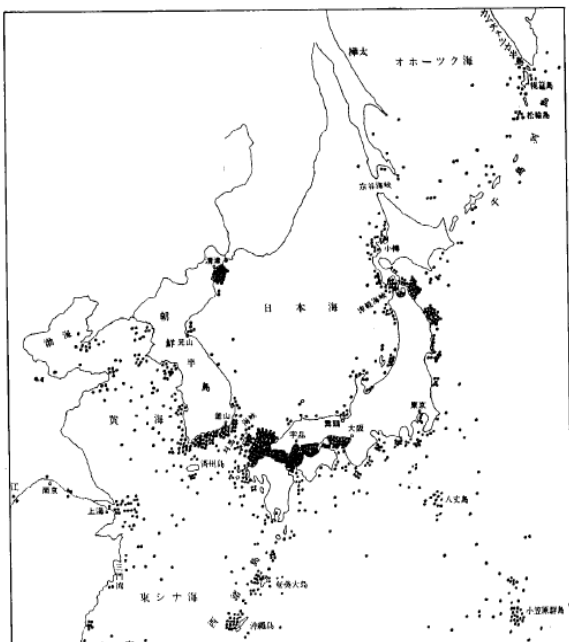


図-2 日本近海の沈船分布

以上、その他の船舶は 400 トン以上、図-1)があり、日本近海でも 1,000 隻以上(図-2)存在するといわれている。また、残存油は、少なくとも 250 万トン、最大で 2,040 万トン存在するという推計(表-1)もある。これは、沈没時の船舶の 80%が満載状態、20%がバラスト状態として、その 80%が海中に放出したとすると平均で沈没時の積載量の 10%が船内のタンクに残存すると推定できることから出た数値である。船舶の 75%以上が第 2 次世界大戦以前に沈んだものであり、すでに 60 年以上経過している沈船が大部分である。図-2 に示すように、タンカーでも 1000 隻以上存在しており、さらに経過年数の大きい危険度の高いタンカーも多い。図-3 は、900~1000 トンの残存油をタンク内に有するタンカーが最も多く 700 隻程度存在することを示す。日本でも平成 16 年 6 月に小笠原諸島の父島の沖合いで流出油が発見され、沈船となった戦前の日本海軍の海防艦から流出した可能性がある。これと同様な油等の流出事故が発生する蓋然性は大きく、当然のことながら同様な対応策を講じておくことが重要である。現在でも年間 10 隻程度の沈没事故が発生している。

2001 年 7 月にミクロネシア連邦の環礁に沈んだ米軍タンカー Mississinewa 号から重油が流出し、ミクロネシア連邦の緊急要請を受けた米

表-3 EEZ 内に存在するタンカーおよび給油船の国

国名	EEZ内のタンカー/給油船の総数
Australia	3
FSM	16
Indonesia	28
International Waters	9
Japan	36
New Caledonia	1
Northern Marianas	2
Palau	9
Philippines	54
PNG	3
RMI	1
Solomon	2
USA	4
unknown waters	165

海軍が 2003 年に 7500kl を抜きとった。これに要した費用は、560 万ドルであった。

南太平洋諸島には、3852 隻中日本船籍の沈船が 3326 隻存在することがミクロネシア連邦の要請をうけた SPREP(南太平洋地域環境計画)の調査で明らかとなっている。特に、海洋汚染の危険が高いタンカー、給油船も数多く沈んでいる。南太平洋諸

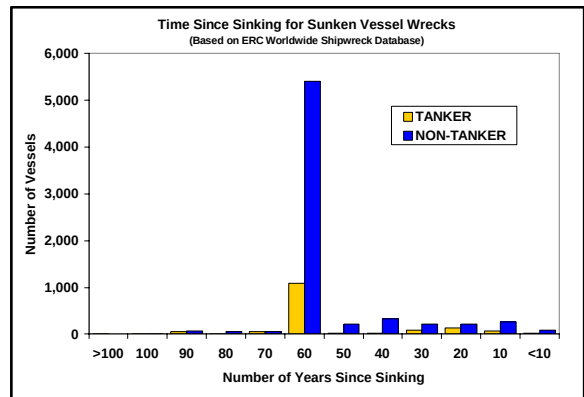


図-2 沈没後の経過年数別の沈船数

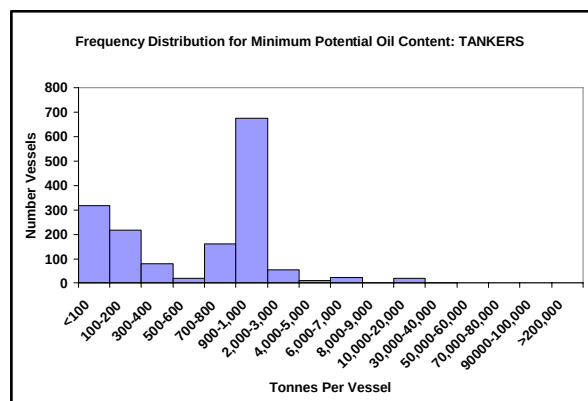


図-3 残存油量とタンカー隻数の推定

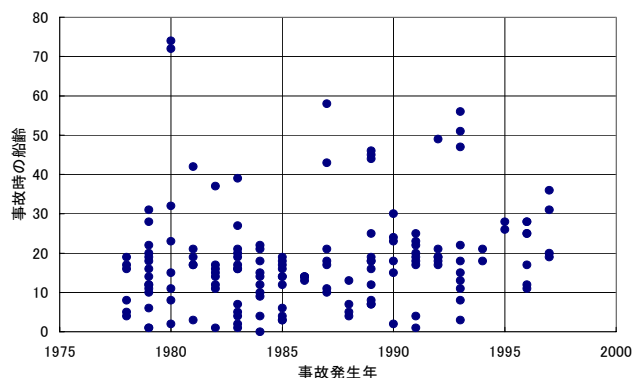


図-4 事故時の船齢と事故発生年

島の国々は、SPREP へ緊急要請を行い、これをうけて、2002 年 7 月に SPREP 総会で沈船の汚染に関する地域戦略を採択した。表-2 に国籍別沈船の総トン数の合計を示す。日本船籍の沈船が群を抜いており 86%以上になっている。表-3 は、EEZ 内に存在するタンカーおよび給油船の国籍別の隻数を示しており、日本の EEZ 内にも 36 隻存在している。また、第 2 次世界大戦中の沈船だけではなく、

英国ロイドの海難情報データベース(1978年～2000年)により、総トン数100t以上のタンカー(ガスキャリア、混載キャリアを含む)の沈船を調査した。このデータから153隻のタンカーは海難事故で現場から撤去されずに放置された事例がある。また、そのうち26隻については、日本近海での事故であり、載貨重量の合計は189,000トンになる。事故時の流出油量の詳しいデータがなく、沈船に残存する油量は不明である。図-4に事故発生年と事故時の船齢の関係を示す。事故発生時にすでに20年以上の船齢の船が30%程度存在し、老朽化した沈船からの油の流出が懸念される。

3. 沈船からの油回収

1997年1月に発生したナホトカ号事故以来、1999年12月にエリカ号事故、2002年11月にプレスティージ号事故がほぼ3年おきに重油流出事故が発生し、いずれも2分割された船体から流出した重油が漂着した沿岸地域に大きな環境被害を与えた。水深2500mの深海に沈没したナホトカ号船尾部には当時最大で9900klの油が残存していると推定されたが、その流出油が沿岸への漂着は考えにくく腐食による損傷の拡大は10年程度はなく、船体が一気に破壊することも考えにくいとした見通しが発表された。フランス沖水深120mの海域に沈没した船首部および船尾部の積載油は完全に回収された。また、スペイン沖3600mの深海に沈んだ船体から革新的な技術を駆使して残存する重油が回収された。ここでは、プレスティージ号からの重油回収について、その技術的な特徴をまとめる。

プレスティージ号は船齢26年、シングルハル油タンカーで、2002年11月13日、ラトビアからシンガポールへの荒天下でスペイン北西海岸から約50km沖のフィニスタ岬で船体の亀裂損傷により25度傾いた。当時、約78,000トンの重油が積載しており、スペイン沿岸警備隊に曳航される前に、海岸から8km圏内まで漂流した。そして、スペイン沖270km、水深3500mに2分割した船体が沈んだが、船体には25,000トンの油が残存していると推定された。スペインの海岸が400km



写真1 ホットタッピングツール

に渡り油で汚染され、オイルボールはフランスの大西洋岸に流れ着いた。

(1)サルヴェージ作業の特徴

フランスの深海潜水艇ノーチル号を所有する研究省、後半にはプレスティージ号からの残存油回収工事の元請会社である Repsol YPF 社が2003年の上半期にプレスティージの漏れ止めの作業を行った。イタリア SONSUB 社は、Repsol YPF 社から工事の主契約社として指名された会社であり、4000m級のROV3台によって持ち込まれた材料で種々なツールで漏れをふさぎ、11箇所のタンクの漏れ速度を抑えた。

- 2003年2月には、13～2t/day、2003年6月には10kg/dayまでに漏れを抑えた。重油の粘度は、5,000,000Cstの高粘度である。
- タンク内の内容物は、熱中性子を利用して油中の炭化水素を検知するツールによりサウンディングされた。
- 圧力6,000psiに耐えるセンサーの設計が問題であり、2003年の後半の油回収作業テストは、70cmの直径の穴をあけるためにROVで操作できるホットタッピングツール(写真1)を使用した。25m高さの容積500m³の円筒型のソフトタンクがタンクの内部に油が入って浮かび、浮きドックに回収するために海表面の油をピストン輸送した。
- 水の密度は3℃で1.044Mg/m³、油の密度は1.012Mg/m³である。この密度差を利用して流量50～2m³/hrの速度で吸い上がる。同時に、

海水を深さ 18mのタンク底まで管を通して注入した。

- ・ 後にこの方法に代わって 350m³のアルミ製シャトル(23m×5m、写真 2)が設計され、シャトル下部は自動でバルブの開閉がおこなわれる。
- ・ 沈船甲板上 30m に浮遊姿勢を維持するためのアンカーボルトの固定の作業は、すべて海上の母船から操作する。
- ・ 海表面から 60m のポイントで、シャトル上部に設置されたライザー端部ユニットと FPSO との間を、油をポンプアップしてタンカーに積み込んだ。
- ・ シャトルが水深 60m 付近になると、FPSO オーディン号からライザーアセンブリが降ろされシャトルに接続される。頂部インターフェイスがライザー端末ユニットと接続して、ライザー内の油のポンピングを可能にする ROV 操作式の仕切り弁が 2 つ装備されている。
- ・ シャトルライザー接続部からオーディン号タンクまでの約 60m の経路をシャトルの燃料ポンプを使用しての抜き出し作業について、コア流れ方式という吐出中に油の外側に水をポンピングして、水膜の内側を油が流れる仕組みを利用した。

深海の微生物が燃料の毒性化合物を消滅する活動を、栄養物の添加によって加速する。すべてのタンク内にバクテリアを注入した。

2004年5月に作業を開始し、2004年10月中旬までに約90%の油が回収されたと予想される。2004年9月までに、13,250トンの油が無事に回収された。

プレスティージ事故の教訓は、沈船からの油回収は水深にかかわらず可能であることを示したことであり、油回収作業の初期見積もりは、革新的技術により飛躍的に低減された。

4. 研究課題

沈船からの油流出については、重要な問題であるにもかかわらずその対応策については立ち遅れている。特に、第2次世界大戦中の沈船の場合、戦争責任を問うことができない現状で



写真 2 アルミ製シャトル

は、沈船から油等が流出した場合の責任問題が明確にできないことが大きな要因である。これは、世界的な環境問題の一環として捉えるべきものであり、堅密な国際的な協力が必要と考えられる。沈船の系統的な環境リスク評価手法が世界規模で求められているが、現状ではどこにもそのような基準を示すものが見当たらないために、次のような段階を踏まえた調査・研究が必要と考えられる。

1. 沈船の位置、危険物の積荷の有無などあらゆる情報を集約したデータの収集とデータベースを構築する。
2. 沈船の処理手法が決定できる系統的な環境汚染リスク評価法を開発する。
3. 異種の海象条件での沈船の劣化、腐食の推定法を向上させることにより、環境リスク評価法を開発する。
4. 行動判断の支援ができるような深海における低温、高圧の重油の挙動と物理特性の研究を行う。

しかしながら、沈船からの油流出に対応する実用的な指針が存在しないのが現状であり、環境リスクの定量的な評価法が確立されておらず、漏洩の時期と規模の確率論的な危険度を示す期待値を求める手法も提示されていない。

当所では、沈船のリスクレベルの保持を目標として、その実現のために図-5のような研究フローを作成した。以下にその研究手法を、実施中あるいは計画段階のものを含めて簡単に記述する。

① 沈船マップの作成

沈船に関する下記の情報を収集し、地図上にすべての必要な情報を盛り込みアクセスできるソフトウェアを開発する。

- ・沈船の位置情報、主要寸法等の把握
- ・沈船の状態把握（搭載物の推定）
- ・沈船の周辺海域の環境条件（潮流、水温、水圧）
- ・沈船の船体状況の把握

② 船体腐食速度の推定

沈船から採取した船体試験片の板厚計測と元厚を比較することにより、板厚の衰耗度予測曲線を作成する。これと同時に低温、高圧タンクを利用した腐食実験を行い、船体部材の海中における電解挙動から腐食衰耗（腐食速度）推定方法を確立する。この実験には、当所の所有する 600 気圧の高圧タンク（内径 1.1m, 内部高さ 3m、容積 2.8m³）を利用し、水深 6000m まで模擬する腐食実験が可能となる。

船体の崩壊パターンによって、沈船からの有害物質の流出規模が大きく影響され、沈船内部のタンクに入り込んだ海水と有害物質のバランス、船体姿勢を考慮した崩壊部分の予測も流出時期とその規模を推定する上で重要な要素となる。船体の板厚のデータをもとに、船体の崩壊パターンを数種類に分類し、船体姿勢、残存油量等を考慮して船体構造強度計算を行い、確率論的に流出の時期と規模に関する期待値を推定する。

③ 残存油量の推定

加速器を用いたパルス中性子源を用いた試験を実施し、残油量推定に不可欠な炭素/酸素比の評価を行い、残油量推定の精度評価を実施する。また、超音波による沈船の残存油量の計測に関して、油の種類や測定条件による測定の難易度や精度を調べ、残存油推定に対する超音波の適用方法を明らかにする。

④ 拡散・漂流シミュレーション

沈船からの流出油が海底から海面上に浮上し、さらに漂流・拡散の後に沿岸に漂着するまでのシミュレーション計算を実施する。海底の潮流影響を考慮した計算手法を開発する。また、環境脆弱性マップを利用するとともに、この油の漂着がもたらす生態系モデルを用いた環境影響を再評価する。

⑤ 流出油のモニタリング

光の届かない海中において、沈船から流出する油のモニタリングおよび流出量の推定は重要であり、超音波を用いた計測技術を研究する。

⑥ 油分解処理

油の微生物分解に関する圧力の効果を検討し、深海環境における分解の可能性、高圧下で油分解に寄与する微生物コンソーシアの特徴、さらに、海水中の酸素濃度、各種イオン濃度などが分解性に及ぼす影響を明らかにする。これにより、将来の残存油量を推定し、沈船中の残存油の流出のリスク評価手法を開発する。

⑦ 油回収手法

流出油や沈船から高粘性油を回収する場合、回収した高粘性油の移送時の管摩擦抵抗とその軽減策（約800分の一を目標）について把握する。管摩擦抵抗の軽減方法を活用したる沈船からの回収システムを開発する。また、浅海域から深海域までにおける油回収における要素技術のフイージビリティスタディを実施する。

⑧ 環境リスク評価ツール

沈船に対する情報、流出可能性の有無、有害物質流出の影響を包括的に統合し、沈船の環境リスクの評価支援ツールを制作する。最終的に、流出時期と環境影響の度合いを考慮して、沈船の環境危険度ランクによる分類が可能な環境リスクマップを作成する。また、沈船の環境リスク評価には、別途実施研究による成果である微生物の油分解を組み込んだリスク評価法を活用して、深海底における沈船の残存油量の変化を知ることが可能となる。

⑨ 沈船リスクマップ

⑧で開発した環境リスク評価支援ツールを活用し、日本近海の沈船のリスクマップを地図情報システムと組み合わせ、沈船の流出予測時期、規模などがパーソナルコンピュータ上で表示できるシステムを作成する。

⑩ 環境影響マップ

沈船の油流出による環境被害を評価し、環境危険度の確率的な期待値が定量的にパーソナルコンピュータ上で表示できるシステムを作成する。

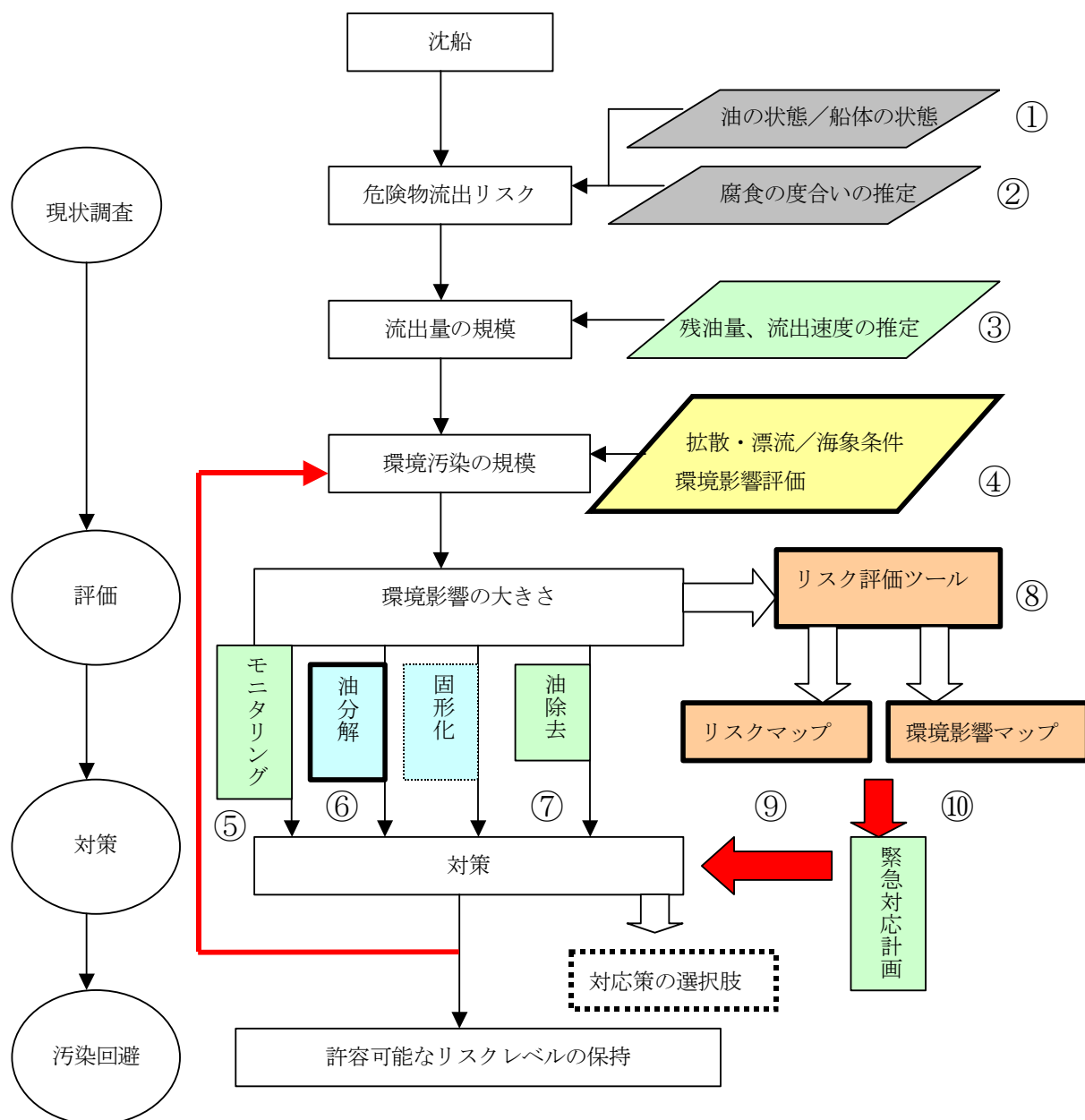


図-5 沈船のリスクレベル保持のための研究フロー

参考文献

- 1) Proceedings of Information Days of Cedre, 2003
- 2) 'Potentially Polluting Wrecks in Marine Waters', Issue Paper for the 2005 International Oil Spill Conference, 2005,
- 3) 'Underwater Pollution Threats to Our Nation's Marine Resources, Marine Technology Society journal, Vol.38, No.3, 2004
- 4) Environmental Research Consulting (ERC) International Marine Shipwreck Database
- 5) SPREP. 2002. Regional Strategy to Address Marine Pollution from World War II Shipwrecks, Thirteenth SPREP Meetings of Officials (Item 7.2.2.1) Majuro, Marshall Islands 21-25 July, 2002