

船舶のバラスト水による 海洋環境汚染について

大沼あゆみ研究会
森 雅彦

卒業論文

There are places I'll remember

All my life, though some have changed

Some forever not for better

Some have gone and some remain

All these places had their moments

With lovers and friends I still can recall

Some are dead and some are living

In my life I've loved them all

The Beatles 𐀀 In My Life 𐀁

目次

第一章 海洋環境汚染としてのバラスト水問題

- 1 - 1 海の持つ様々な価値
- 1 - 2 国際貿易とバラスト水問題
- 1 - 3 世界各地における移入種被害

第二章 バラスト水問題に対する対策

- 2 - 1 バラスト水処理方法
～物理的・化学的処理方法と洋上バラスト水交換～
- 2 - 2 バラスト水に対する国際規約

第三章 オーストラリアのバラスト水問題

- 3 - 1 オーストラリアの課徴金制度（1998年）
- 3 - 2 オーストラリアが義務付けたバラスト水管理規制（2001年）

第四章 モデル分析

まとめ

* 参考文献

第一章 海洋環境汚染としてのバラスト水問題

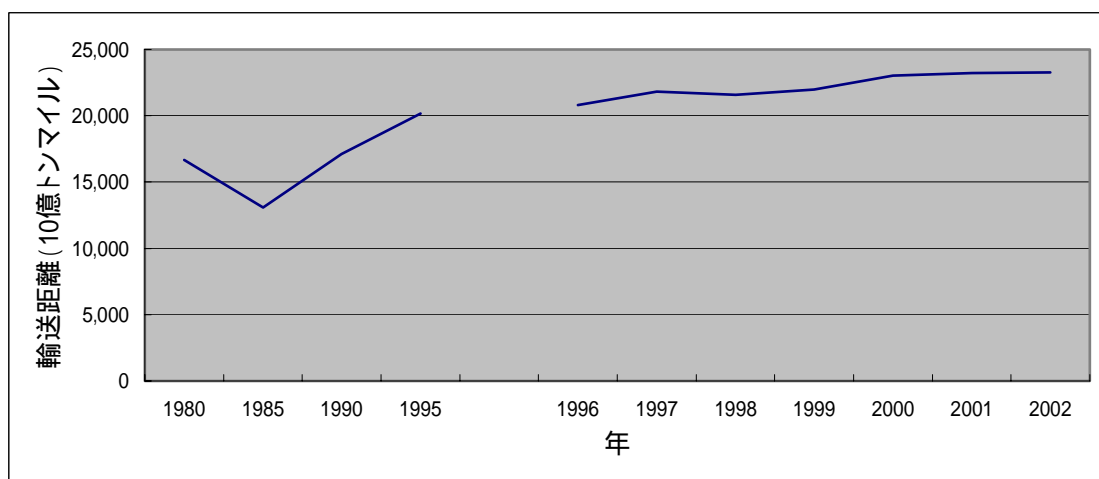
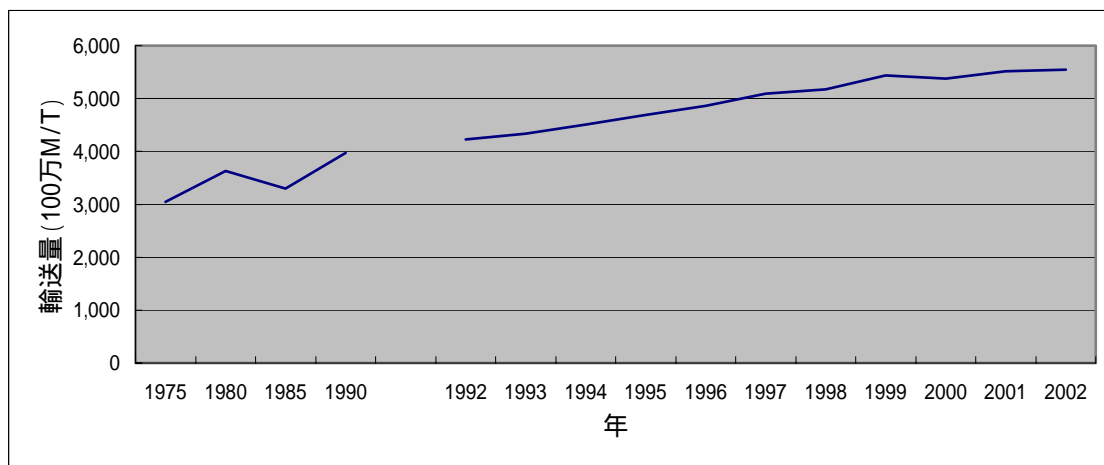
1 - 1 海の持つ様々な価値

世界中のほとんどの人々が、何らかのかたちで海の恩恵をこうむっている。地球は、その表面積の約 7 割（3 億 6100 万平方キロメートル）を海が占めている『水の惑星』である。海は約 42 億年前にでき、それから 7 億年後、地球最初の生命が海で生まれた。そして、海の生物が酸素を作り出したことによって、陸上に植物や動物が生まれたのである。このように、海は人類を含めあらゆる生物を産み出した母なる存在なのである。そして、すべての生物は海から命をもらうとともに、その生存・進化の過程において海からの多大なる恵みを受けてきた。

太古より、人々は海から食料を調達し、資源を採取して生活してきた。現在人類は、世界平均で、全タンパク質の 6%、動物性タンパク質の 16%を魚介類から摂取し、なかでも、アジア人は動物性タンパク質の 30%以上を魚介類に依存している。1950 年以来、漁獲量は 6 倍に増加しており、その 83%が先進国に輸出され、消費されている。また、世界の石油と天然ガスの 26%は、中東、米国、中南米、北海の沖合採掘設備から産出している。さらに海は、人類に食料や資源を与えてくれるだけでなく、森林と同じように、植物プランクトンによって、二酸化炭素を吸収してくれている。植物プランクトンやその他海草などの有機炭素類は、海洋動物によって摂取されるが、一部は深海に落ち込み、何百年という時間をかけて、深海に堆積している。その量は、約 1500 万ギガトンであり、陸地に堆積された量が約 4,000 ギガトンであることを考えると、その蓄積量 = 二酸化炭素貯蔵量は、比べ物にならない量である。また、二酸化炭素の吸収だけではなく、暴風の防御や、気候・気温の調整など行っており、地球を生物にとって住みやすい場所になるよう、環境の調整を行ってくれているのである。そして近年では、海は重要な輸送路としても利用されているのである。国際間の物流は、国境をなきものにする勢いで増加を続けており、1955 年以来、国際貿易量は 6 倍に増加し、2020 年までには、さらにその 3 倍に増加する見込みである。空路が発達しつつあるとはいえ、貨物の輸送は海運が主流であり、約 90%が海上輸送で運ばれるとされている。

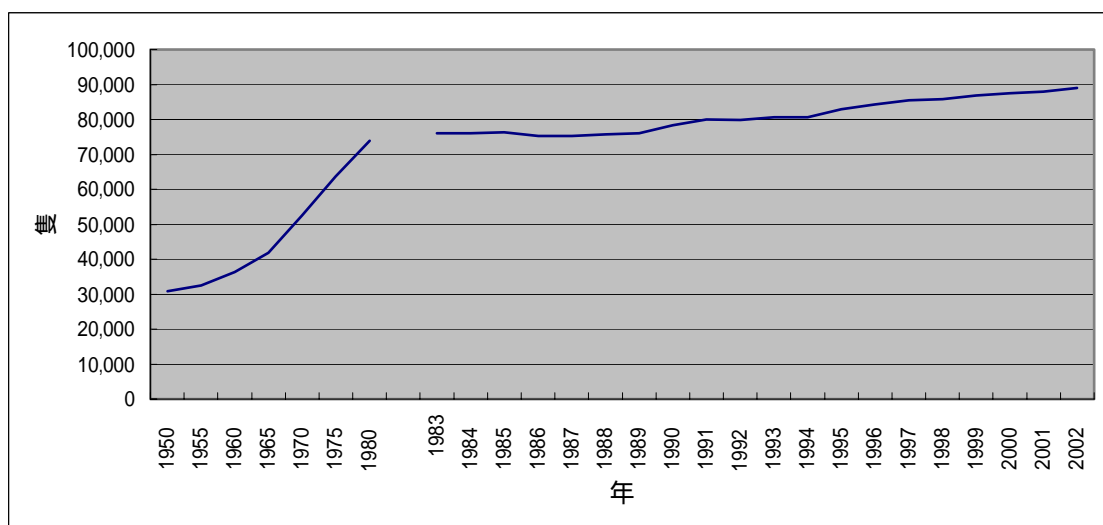
(Think about Marine Environment より)

(グラフ 1, 2) 世界の主要品目海上荷動量



出所：ファンレイズ社「REVIEW」

(グラフ 3) 世界の商船船腹量の推移

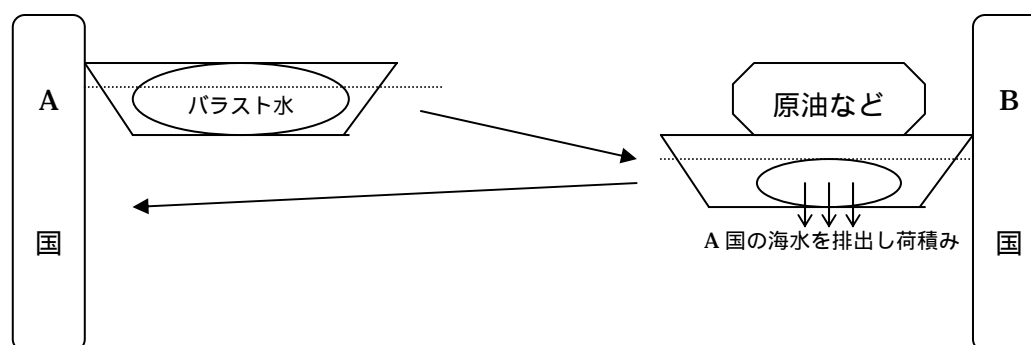


出所：ロイド船級協会「Statistical Tables」及び「World Fleet Statistics」

(社団法人日本船主協会統計データより作成)

1 - 2 国際貿易とバラスト水問題

ここで問題となってくるのが、大量の国際貿易船舶のバラスト水による海洋環境の汚染である。バラスト水とは、荷物を降ろした貨物船が空荷で航行する際に、船体を安定させるために取り込む海水のことであり、ほとんどの船舶では、載貨重量の 25%から 30%のバラスト水を積む必要がある。かつては砂利やレンガ、陶器、鉄などがバラストとして利用されていたが、1880 年以降は海水が利用されるようになった。バラストとして海水を利用するメリットは、航海中に荷崩れや荷の移動などが起こりにくいこと、荷室やバラストの形状による制約を受けないこと、世界中どこでも入手が容易なことなどである。(佐藤, 2004) このバラスト水は、荷積みの際に排出されるため、離れた海域の海水が全く違う海域で放出されてしまっているのである。例えば 20 トンの原油を積めるタンカーが A 国と B 国を往復したとすると、A 国で 5 トンから 6 トンのバラスト水を積み込んでから B 国へ向かい、B 国での原油の積み込みと同時に A 国で積み込んだ海水を B 国で排出しているのである。このため、バラスト水 (A 国の海水) に混入したプランクトンや様々な生物が、本来の生息地でない環境 (B 国) に拡散し繁殖してしまい、その海域の海洋生態系を破壊してしまうだけでなく、漁業などの経済活動へ被害を与え、さらには人の健康へも被害を与えているのである。



ここで、バラスト水によって破壊されてしまう海洋生物の生態系の価値、つまり、海の持つ生物資源の価値について言及しておきたい。母なる海には、まだ人類が探索していない未知の海域が多く存在しており、そのため貴重な生命形態、遺伝子情報の宝庫であると考えられている。地球全体の生態系において、海洋生物の占める割合は約 63%であるといわれている。その多くは沿岸部や大陸棚に集中している。日本においては、平野部が少ないこともあるが、沿岸海域は浅いことが災いして、工場、農業用地、住宅地を確保するためや、コンクリートを作るのに必要となる海砂をとるため、埋め立てなどの対象となっている。また、海の見える環境というのは、リゾート観光の対象として重宝されるなど、

様々な理由から沿岸部の開発は活発に行われている。以上のように沿岸部はただでさえ、近代の港の建設や、居住地や都市の拡大、養殖業の発展によって、陸上からの打撃を受けている。そのうえで、バラスト水による生物種の移入という問題が深刻になり、海の内部から生態系が破壊されていくという状況は、地球に存在する生態系の価値の多大なる損失にあたるのではないだろうか。そして、この地球規模での損失を止めるためにも、バラスト水に対する対策は急務なのではないだろうか。

(表1)

生態系	面積 (100万ha)	総価値 (ドル/ha/年)	地球全体でのフロー価値 (10億ドル/年)	地球全体での価値 (%)
海洋	36302	577	20949	63
外洋	33200	252	8381	25
沿岸	3102	4052	12568	38
陸生	15323	804	12319	37
世界	51625		33268	100

(Think about Marine Environment より)

1 - 3 世界各地における移入種被害

バラスト水による問題は、1988年頃から特にオーストラリアやアメリカで問題視されるようになった。ここでアメリカにおいて、バラスト水が注目されるようになった問題とは、1986年のロシア船籍のバラスト水に混入したゼブラむらさき貝の異常繁殖である。ロシアの船舶がカスピ海原産の幼生貝であるゼブラむらさき貝をバラスト水に含みアメリカの五大湖で排出した。その排出されたゼブラむらさき貝は五大湖の湖底で異常繁殖し、水中の生態系を変えてしまったのである。さらに、繁殖したゼブラむらさき貝は、2,500万人もの利用者がいるという多数の取水口や水門等に取り付き、閉塞させてしまった。その結果、3年後の1989年には多くの農場が荒廃し、工場や発電所が停止してしまったのである。1989年以降現在に至るまで、アメリカの経済損失は10億ドルとも30億ドルとも言われている。

現在では、世界で年間120億トンのバラスト水が各国間を移動し、毎日3,000個体以上の動植物が別の海域へ移動していると推定されている。そして、貨物船1隻のバラスト水からは約500種のウィルス、バクテリア、原生動物、菌糸状菌、動物、植物が検出されると言われている。そのなかには、排出先の環境に適応できず、定着せずに死滅する種もあるが、いくらかの種は、出港先の海水温や、気候、気温に排出先の環境が近かったり、天敵となる生物が存在しなかったりすると、定着し、繁殖してしまう。例えば、オーストラリアでは、1997年の一年間で約170種の外来種が発見されているのである。特にこのオーストラリアの場合では、日本からの貨物船によるバラスト水の影響が無視できない。日

本からの貨物船によってオーストラリアに排出されるバラスト水は、年間 6,000 トンにも
 のぼり、そのバラスト水に混入していた本来オーストラリアに生息していない有害ブラン
 クトンによって、養殖貝が毒化したという被害を引き起こしている。また、東京湾に生息
 しているマハゼが発見されたという報告や、バラスト水に含まれていたと思われるヒトデ
 類が、オーストラリアのタスマニア水域で繁殖し、貝産業の脅威になった事例もある。日
 本は、他国から輸入されるバラスト水が 1700 万トンであるのに対して、日本から他国に輸
 出するバラスト水が 3 億トンであるため、『バラスト水輸出大国』であると言われているの
 である。

しかし、逆に他国からのバラスト水の排出によって、日本でも本来生息しているはず
 のない貝、カニ、ホヤなど 15 種の生物が定着、繁殖されていることが確認されている。1997
 年 3 月には、長崎県の福江島においてバラスト水が原因となって毒化した牡蠣を食べたこ
 とによって、16 名が重症になった事例がある。これは、バラスト水に混入していた赤潮を
 発生させるアレキサンドリウム・カテネラや、アレキサンドリウム・タマレンセなど 14 種
 の有害プランクトンを捕食した牡蠣が、その毒を蓄積したためである。そして、これらの
 有害プランクトンは本来日本には生息していないはずのものであり、バラスト水によって
 他国から移入されてきたのである。

そして現在では、バラスト水による問題は、アメリカやオーストラリア、日本ばかり
 でなく、全世界で発生している。(表 2 参照)

(表 2)

生物種	移動元	移動先	影響
ミジンコ	黒海	バルト海	繁殖により漁業妨害
モズクガニ	北アジア	西欧/バルト海/北米海岸	生態系破壊
クシクラゲ	米東海岸	黒海	動物プランクトンを食べ荒らす漁業被害
ハゼ	黒海	バルト海/北米	生態系破壊
カニ	欧州	南豪/南アジア/米/日本	土着のカニを駆逐
ヒトデ	北米	南豪	ホタテ、牡蠣などを食べ荒らす漁業被害
赤潮プランクトン	多方面	多方面	漁業被害・海岸汚損
ゼブラ貝	東欧	西欧/北欧/北米東岸	繁殖により取水口、水門を閉塞
ワカメ	北アジア	南豪/米西岸/欧州	生態系破壊・貝類養殖に被害
コレラ菌	不明	南米/メキシコ湾	1991 年に 100 万人が感染、1 万人が死亡

以上の他にも、アメリカのウリクラゲがバラスト水によって地中海に排出され、地中海で
 繁殖してしまったため、アンチョビーの卵や幼魚を食べ荒らしてしまったため、アンチョ
 ビーの漁獲量が減少してしまったこともある。さらに、ヨーロッパから北アメリカへ移入
 されたカワホトトギスガイや、アジアからヨーロッパへ移入されたチュウゴクモズガニ

など、国際自然保護連合 IUCN が「世界の侵略的外来種ワースト 100」に選出した生物も含まれている。このように、船舶による生物の移入の影響はきわめて深刻なため、バラスト水などを媒介とした他地域からの生物の移入の防止を目的とした米国移入種法(National Invasive Species Act of 1996)では、その目的に即してバラスト水による非意図的な生物種の移入を「ある目的や意図に基づく非在来生物種の移入ではなく、バラスト水、もしくは、養殖その他の目的で魚類や軟体動物または甲殻類を輸送するための水に非在来生物種が含まれて移入すること」と定義している。(佐藤, 2004)

ここで、バラスト水以外による非意図的な移入の例も挙げておく。例えば、漁業者らが安易に種苗を海外から移入して散布することによる非在来生物種の移入である。具体的な事例として、アサリ、ヤマトシジミ、ハマグリが取り上げられ、これらの移入種も沿岸水域の生態系に深刻な影響を与えている。アサリの本来の分布域は東アジアである。しかし、日本産のマガキ種苗の海外への輸出の際に、これに混入したアサリの稚貝も一緒に運ばれたため、カナダのバンクーバーやアメリカのシアトルを中心とした北アメリカ大陸の太平洋側の浅海域に分布を拡大している。そして、これとは逆に日本の漁獲量の 2 倍に匹敵する量のアサリが北朝鮮や中国から輸入されている。このうち、少なからぬ量のアサリが日本の内湾で畜養された後で、各地に流通している。また、赤潮の発生息に分布するアサリの日本各地の浅海域、海外への移植によって、アサリの殻内にも生存している赤潮生物を運ぶことになるため、赤潮被害を拡大することになっている。

上記のように、バラスト水以外によっても移入種問題は発生する。しかしながら、そのなかでも、一回の排出によって数トンもの海水が移動し、全世界を行き交う船舶のほとんどすべてに積載されているバラスト水による影響は計り知れない。むしろ、漁業者の種苗でさえ、被害をもたらすのであるから、バラスト水による被害は甚大であるといってしまうのではないか。

第二章 バラスト水問題に対する対策

2 - 1 バラスト水処理方法

～物理的・化学的処理方法と洋上バラスト水交換～

世界中の海洋環境を乱しているバラスト水に対して、現在ではどのような対策がとられているのだろうか。バラスト水に混入したプランクトンや生物は、一旦排出されてしまうと取り除くのはほとんど不可能なため、バラスト水を排出しないというのが唯一の完全な防止策である。しかし、バラスト水は船舶が航行する際に必要不可欠なものであるため、バラスト水排出をゼロにするというのはほぼ不可能である。(non - バラスト船型という新船型も存在し、現在開発・評価中である。)そこで、現在バラスト水の処理法として、主に 2 つの方法が採られている。1 つは物理的・化学的処理の後排出する方法であり、もう 1 つは洋上バラスト交換という方法である。

前者の物理的・化学的処理とは、塩素、過酸化水素、オゾン、強制濾過、加熱殺菌、紫外線殺菌、通電殺菌、酸素除去、化学薬品の投与、ガスの注入など、多様な方法によって、バラスト水に混入した菌や、プランクトン、生物を死滅させることである。また、特殊なフィルターなどを利用することによって、バラスト水を積み込む際に水生生物のバラスト水への混入を防ぐ手段も挙げられる。これらの処理方法のうち一部は、現時点では一定の成果をあげており、バラスト水に含まれる生物をほぼ処理することが可能であるとされている。主な処理法とその有効性については以下の通りである。(表3)

(表3)

名称	原理	有効性
無害証明 安全証明	船舶のバラスト水に有害な生物が含まれていないことを証明	対象とする有害生物によっては多くの船舶が無害と証明される可能性がある
フィルタリング	バラスト水をフィルターでろ過し有害生物の移植防止	継続的に逆洗できるフィルタリングであれば効果、環境安全、経済面で有効性がある
熱処理	エンジン冷却水やボイラー上記を熱源にバラスト水の温度を上昇させ生物を殺滅	高温では殺滅効果が期待でき二次汚染の心配もない
電気処理	電気衝撃による有害生物の殺滅	可能性はあるが、効果が低い
紫外線処理	紫外線の生物殺傷効果による有害生物の殺滅	可能性はある
化学的処理	化学薬品の生物殺傷効果による有害生物の殺滅	有機塩素系農薬：効果無し ホルムアルデヒド：有害プランクトンに対して 50mg/L 以上で殺滅 オゾン：可能性はあるもののみ確認 他、次亜塩素酸ソーダ、過酸化水素も効果あり

後者の洋上バラスト水交換とは、外洋 200 海里以遠の洋上で出港地のバラスト水を排出し、外洋の海水を新たに積み込むことによってバラスト水を交換する方法である。この方法は、生物が少なく、水深の深い、また陸地から遠く離れた外洋であらかじめバラスト水を交換することで、生物種の多く存在する沿岸部に外来種が移入するのを防ぐことができるのである。現在、主に採られているバラスト水への対策方は、この洋上バラスト水交換である。

2 - 2 バラスト水に対する国際規約

海洋環境の複雑さと調査の難しさから、汚染と環境破壊との因果関係を科学的に証明

するまでには陸域の環境問題よりも時間がかかり、また破壊された環境の復元にも膨大な時間と費用がかかることから、海洋汚染防止においては他の環境問題に先駆けて予防的アプローチが採られており、バラスト水管理においても予防原則が重要視されてきた。バラスト水についての事例研究は 1970 年代から急速に増え、73 年の海洋汚染防止条約 (MARPOL) を採択した IMO (国際海事機関) の会議で病原菌の拡散経路としてのバラスト水管理についての調査が要請された。なお、この MARPOL 条約は、船からの海洋汚染を防止するための条約で、油類、有害液体物質、汚水、廃棄物等の船からの排出と船舶の構造整備を規定したものである。先に述べたように、80 年代からオーストラリアやアメリカにおいてバラスト水による被害が発生し始めたため、地域固有の生態系を保存するためにバラスト水管理の必要性が唱えられるようになった。その後、1992 年の国連環境開発会議で採択されたアジェンダ 21 では、バラスト水による外来種問題に対する対応策の必要性について検討するよう IMO に要請し、生物多様性条約 (CBD) でも外来種から在来種を守ることの必要性が明記された。(池田三郎, 2004)

そして、2004 年 2 月 13 日に IMO において、『船舶のバラスト水及び沈殿物の規制及び管理のための国際条約』が採択された。これは、船舶のバラスト水及び沈殿物の規制及び管理を通じて、有害な水生生物及び病原体の移動による環境、人の健康、財産、資源への危険を防ぐことを目的とし、他国の管轄する水域への航海に従事する船舶 (バラスト水を積載しない船舶、軍艦などを除く) を対象として定められたものである。この条約による規制は、主に以下の 4 項目である。

バラスト水規制基準の遵守義務

船舶の建造日及びバラスト水タンクの容量に応じ、一定期間は『バラスト水交換基準』または『バラスト水処理基準』のいずれか、その後には『バラスト水処理基準』を遵守することを義務付け

・ バラスト水交換基準

可能な限り、陸地から 200 海里以遠で水深 200m 以上の海域 (ただし、例外として、前記海域で交換不可能な船舶については、50 海里以遠で水深 200m 以上の海域) において、体積ベースで 95% 以上の海水交換を行うこと

・ バラスト水処理基準

		基準	備考
動物プランクトン		10 / 1m ³	外洋のおよそ 1 / 100 程度
植物プランクトン		0 / 1ml	
細菌	コレラ菌	1 / 100ml	海水浴場並み
	大腸菌	250 / 100ml	
	腸球菌	100 / 100ml	

検査

総トン数 400 トン以上の船舶は、その構造、設備などについて旗国の検査を受けなけ

ればならない

港国での監督

寄港国は、船舶に対するバラスト水管理記録簿等の確認及び IMO ガイドラインに従ったバラスト水のサンプリングを行う権限を持つ

モニタリング

締約国はバラスト水管理の実行及び影響をモニタリングする

(環境庁報道発表資料より)

この条約は、30ヶ国が批准し、かつそれらの合計商船船腹量が世界の35%以上となった日の12ヶ月後に発効されるものであるが、この条約によって初めて、外来種による生態系破壊や環境汚染などを防ぐための外来種対策として、国際条約が採択されたことになる。

この条約で最も重要な点は、物理的・化学的処理、洋上バラスト水交換それぞれに対して、遵守すべき規準が定められることになったということである。しかし、この条約に定められた基準を遵守するという依然に、上記の2つの方法について、それぞれ問題点が存在しているのである。その問題点とは、まず物理的・化学的処理に関しては、何トンもの海水を処理する必要があるため、その処理を行うための技術や設備の導入に多額の費用がかかってしまうことである。有効性のある熱処理法にしても、その実用技術開発にはさらに長時間の研究と、高コストが必要とされている。しかも、新たに製造される船舶ならまだしも、現在往来しかっているすべての船舶に対して処理装置を設置することは、海運に従事する企業に多大なコストが生まれてしまう。また、洋上バラスト水交換に関しては、沿岸部から離れた外洋とはいえ、他海域の海水を無処理で排出していることには変わりはなく、外海での交換による生態系破壊の危険性は無視できるといえるのであろうか。海というのは、世界中をつなげているものであり、海洋生物や、漂う汚染物質は外洋で排出されたとしても、沿岸部の海洋環境に影響を与えないとは言い切れない。さらに、バラスト水は、先にも述べたように一旦排出されてしまうと取り除くのはほとんど不可能なものであるため、ある種の蓄積性汚染物質的な性格を持っているといえるため、洋上でのバラスト水の交換が永遠に続けられるとすると、沿岸部に影響を与える可能性だけでなく、広い外洋の環境すらも変えてしまう恐れが出てきてしまうのではないだろうか。

第三章 オーストラリアのバラスト水問題

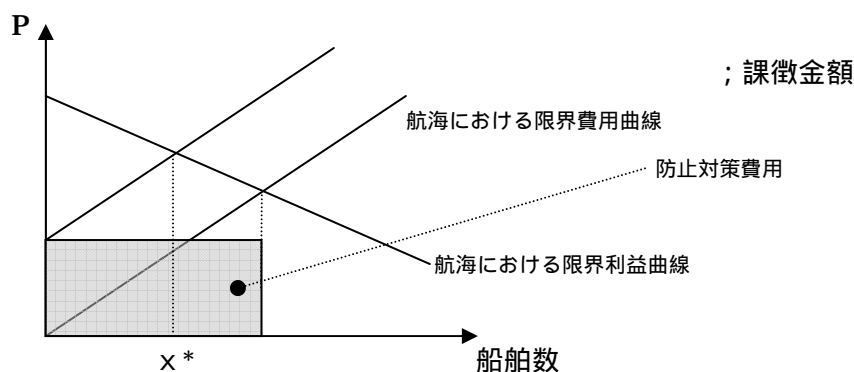
3 - 1 オーストラリアの課徴金制度(1998年)

ではここで、一国における具体的なバラスト水問題への対応として、オーストラリアの対策を見てみたいと思う。オーストラリアは、バラスト水が問題視され始めた1980年代からバラスト水による被害を受けており、その対策に重点をおいて考えているため、バラ

スト水対策に対する先進国の 1 つであると言え、オーストラリアの例を考えることは、今後のバラスト水に対する対策を考えるうえで有益であるといえる。

オーストラリアにおけるバラスト水防止策の 1 つとして挙げられるのが、1998 年に決定された課徴金制度である。オーストラリア連邦政府は、オーストラリア港湾内で 50 メートル以上の港湾に寄港する船舶に課徴金を課すことを決定した。課徴金は、バルク積載船舶には一律 210 豪ドル（約 17000 円）、その他の船舶には 140 豪ドル（約 11000 円）が課せられ、徴収金は豪州検疫サービス局（AQIS）に代わって税関職員が徴収するかたちとなった。また、課徴金の徴収は、豪州国籍の船舶が国内 64 ヶ所の国際港湾施設に年間 1 万隻寄港しており、それら港湾で排水されるバラスト水の量が 1 億 5000 万トンと非常に多いことから、国内船舶に対しても課せられることになった。（農林水産省ホーム）つまり、この政策は、寄港する船舶のバラスト水に対して課徴金を課すことによって得られた資金を、バラスト水による被害の防止対策費用として充てるというものである。（グラフ 4）

（グラフ 4）



この課徴金制度は、バラスト水排出者である船舶数の寄港を減少させる（ $x \rightarrow x^*$ ）効果と、汚染対策費用を捻出できる効果の、2 つの効果を生む可能性があることが分かる。しかし、この課徴金制度には、3 つの問題点が存在しているのではないかと考えられる。1 つは、バラスト水被害の原因の根本的な解決をもたらしていない点である。2 つ目は、課徴金額の大きさ。そして最後は、将来的に見たとき、船舶に対してバラスト水対策の設備を導入させるインセンティブに欠けている点である。

まず、1 つ目の問題点であるが、バラスト水は、一度排出されてしまうと取り除くのがほとんど不可能であるか、莫大な時間とコストがかかってしまうという性格をもち、またバラスト水問題の根本的な問題が非在来生物の増殖ということであるため、自然の再生能

力が他の環境汚染に比べて働きの悪い。(温暖化の原因である二酸化炭素の例で考えると、一旦排出された二酸化炭素は、それ自体で増殖することではなく、また森林等の吸収源によって吸収され減少するが、バラスト水に含まれる生物は、それ自体で増殖することが可能であり、天敵となる生物がいなければ、増殖し続けてしまう。)そのため、排出自体または排出による影響をゼロにしなければ解決とはならない。しかし、課徴金制度ではバラスト水は排出されてしまい、課徴金によって得られた防止対策費用をもってしても、海洋環境を改善することが可能とは思えない。

2つ目の問題点である の大きさについてであるが、船舶数の減少分(- *)は の大きさに依存している。つまり、 が小さいとき船舶数の減少は思った以上に望めない。1 航海に数百万円かかる海運において、オーストラリア連邦政府が定めた は 210 豪ドル = 約 17000 円 (140 豪ドル = 約 11000 円)であることを考えると、航海における費用との相対的な価格は低いのではないだろうか。1955 年以来、国際貿易量は 6 倍に増加し、2020 年までには、さらにその 3 倍に増加する見込みであり、そのうちの約 90%が海上輸送で運ばれるとされている現在の海運状況のなかでは、この課徴金制度における船舶数の減少はほぼゼロに等しいといえるのではないか。

3つ目の問題点に関しては、寄港する船舶を対象に課徴金を課すだけでは、多額なコストをかけてまで処理装置を導入しようとするインセンティブが生まれにくいということである。現在考える完全なバラスト水対策は、船舶に対して処理装置が導入されることであり、規制・政策によって処理装置付船舶へとシフトさせるインセンティブを生む必要があると考える。つまり、バラスト水の適切な処理のできる船舶が得をする枠組みを作ることが重要となってくるのではないだろうか。

しかし、上記3つの問題点を加味した対策が可能であるとすれば、経済学によってバラスト水問題の解決に向かうことは十分に考えられる。次章でのモデル分析においては、このオーストラリアの課徴金の問題点を考慮に入れたモデルを構築することを目的とする。

3 - 2 オーストラリアが義務付けたバラスト水管理規制 (2001 年)

2001 年 7 月、オーストラリア検疫検査局 (AQIS) は、新たにバラスト水管理規制の義務化を行った。このバラスト水管理規制は、バラスト水を「ハイリスク」バラスト水と「ローリスク」バラスト水に区別し、それぞれのバラスト水に応じて管理するというものである。国際貿易を行う全船舶は、この規制を遵守してバラスト水管理を行うことが義務付けられ、「ハイリスク」と見なされたバラスト水はオーストラリアの港湾や領海 (12 海里海域が適用されている) で排出してはいけないとなった。

ここで言うバラスト水の管理方法は、バラスト水決定援助システム (BWDSS) から各タンク (バラスト水を注入しているタンク) のリスク評価を受け、「ハイリスク」バラスト水が「ローリスク」バラスト水かを確認する。ここで、BWDSS に「ハイリスク」と見なされたバラスト水については、「ハイリスク」バラスト水を船舶内に維持する オ

ーオーストラリア領海に入る前に深海でバラスト水交換を行う のどちらかを選択して管理する。 に関しては、「ハイリスク」バラスト水を船舶内の別タンクに移すことが認められており、AQIS は船舶に対して、船舶内「ハイリスク」バラスト水の量と場所についての証明書を独立した第三者から入手するように義務付け、この証明書入手費用は船舶の自己負担とされている。

「ローリスク」バラスト水は、BWDSS の評価を受けて「ローリスク」と見なされたバラスト水のほかに、国際海域において認可された方法で洋上交換を行ったバラスト水も含まれる。これらの「ローリスク」バラスト水については、それ以上とらなければならない処置はなく、適切な場合には、AQIS への申請があればオーストラリアの港湾・海域で排出する許可が与えられている。

また AQIS は、これらのバラスト水に関して海外からオーストラリアに到着する全船舶の立ち入り検査を行っており、バラスト水管理が AQIS の要件にしたがって行われたことを、船舶のデッキ、エンジン、バラストに関するログブックを見ることによって、バラスト水管理処理の経緯を確認している。 (AQIS Fact Sheet より)

第四章 モデル分析

4 - 1 汚染税・汚染削減補助金組合せモデル

経済学観点から、バラスト水の最適汚染量が達成できるかモデルを使って検証してみたい。ここで、オーストラリアでの課徴金政策をふまえ、バラスト水排出に対して汚染税をかけることによって、バラスト水排出削減を行うことを考えてみる。

[仮定]

バラスト水処理装置を設置していない船舶 を所有する企業 A とバラスト水処理装置を設置している船舶 を所有する企業 B の 2 社の社会

企業 A、企業 B の限界利益曲線は等しい

船舶 、船舶 において、海運業務上の能力に差は無い

バラスト水排出先の海域には、排出される生物の天敵が存在し、多少の排出に対しては自然の再生能力が見込める (= 最適汚染量が存在する)

バラスト水処理装置を設置すると、排出による汚染はゼロとなる

企業 B の船舶 においては、既に処理装置が設置されており、追加的コストはかからない

このとき、汚染税によって最適汚染量を達成するために重要なものはその税率 (T とする) であるが、オーストラリアの課徴金制度の課徴金額 と同様、税率 T が低いと全くといって良いほど効果は生まれない。そのため、汚染税のみで最適汚染量の達成までのバラスト

水削減効果を望むためには、その税率 T はかなり高率になってしまう。また逆に、汚染削減補助金によって最適汚染量を達成させることを考えてみると、莫大な政府支出が必要になってしまう。これらのことから、バラスト水の最適汚染量達成のために望ましい政策として、汚染税と汚染削減補助金（汚染削減補助金率を T とする）を組み合わせる方法を提案したい。

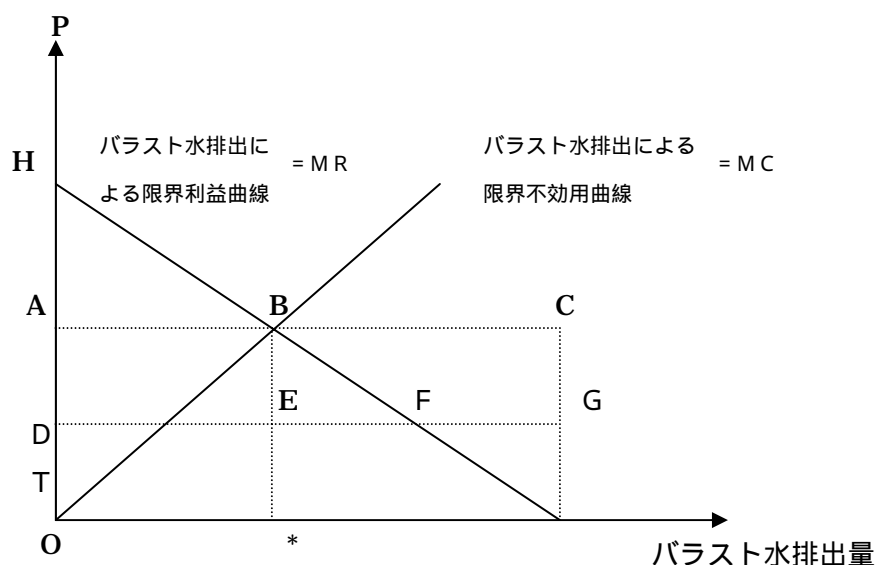
ここで課税対象とするバラスト水は、適切な処理のされていないバラスト水、つまり企業 A の所有する船舶 が排出するバラスト水であり、適切な処理がされているバラスト水、つまり企業 B の所有する船舶 に関して汚染税は課税されない。また、汚染削減補助金に関して、汚染を引き起こすバラスト水の削減に対して与えられるものとし、船舶が排出削減しても補助金は与えられないものとする。

以上のもとで、分析をしてみたい。

[企業 A について]

グラフのように、限界利益曲線 MR 、限界不効用曲線 MC を設定する。

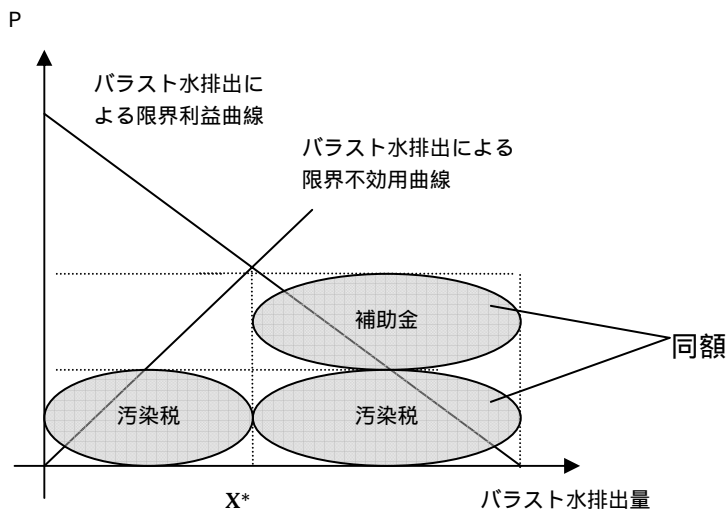
(グラフ 5)



企業 A は、汚染税が課せられていない状況では、自己の利益最大化のため、量のバラスト水排出を行っているとする。このとき総利益は OAH となる。

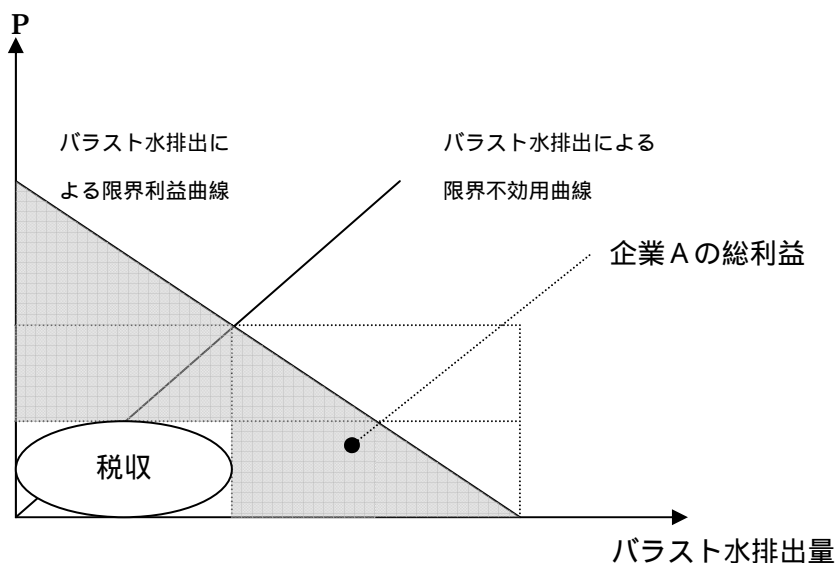
今、仮に、最適汚染量 $*$ を汚染税のみで達成しようとしたとき、税率 T は OA の率が必要になる。ここで、汚染税と汚染補助金を組み合わせて最適汚染量 $*$ を達成する場合は、 OA をちょうど 2 等分する点を D とすると、 OD の汚染税率 T と DA の汚染削減補助金率を設定すればよい ($OD = OA \cdot T = \frac{1}{2}OA$)。この時、汚染税を O から $*$ まで 1 単位のバラスト水排出に対して汚染税率 T で課すとする、税収は $ODGX$ となる。また、同時に

から X^* まで 1 単位のバラスト水の削減に対して汚染削減補助金率 を企業 A に与えるとすると、総補助金額は EBCG となる。



から X^* にバラスト水排出量を削減することによって失われる企業 A の利益は、汚染税が課せられていない状況と比べると、0 から X^* までのバラスト水排出による汚染税負担である ODE X^* と、 X^* B の面積の和である。しかし企業 A は、 X^* から X^* へバラスト水排出を削減したことから、政府から汚染削減補助金として EBCG を受け取る。ここで、 X^* EF と CGFB は同値であるため、政府からの補助金によって、 X^* B 分の利益の損失は補填される。つまり、この設定のもとでの企業 A の総利益は以下の部分であり、政府には税収として ODE X^* の部分が残る。税制中立の考えでは、この政府の余剰部分は問題となるが、この点は先で述べることとする。

(グラフ 5')



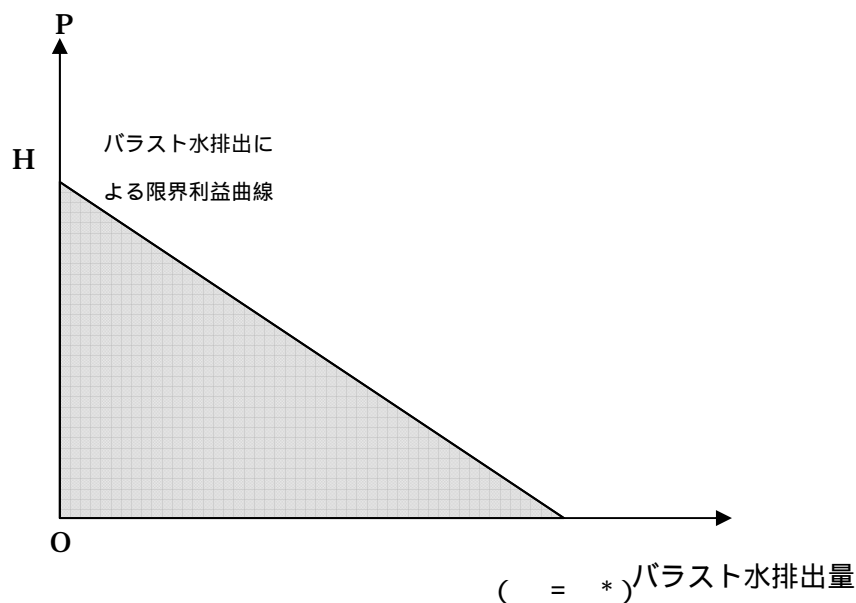
以上のように、企業Aにおいて汚染税率Tを課し、汚染削減補助金率 α の補助金を与えることによって、課税前の総利益に比べて、政府税収分の利益のマイナスが生じ、バラスト水排出量は Q^* から最適汚染量 Q^* へとシフトすることが分かった。

[企業Bについて]

仮定より、バラスト水排出による限界利益曲線は等しい。また、企業Bの所有する船舶荷については、適切なバラスト水の処理が行われるため、バラスト水排出による不効用は発生せず、汚染税も課せられない。ただし、バラスト水の排出によって汚染が起これないため、排出量を削減しても汚染削減補助金は与えられない。

以上のことを踏まえて、企業Bにおけるグラフを作成すると、以下のようなになる。

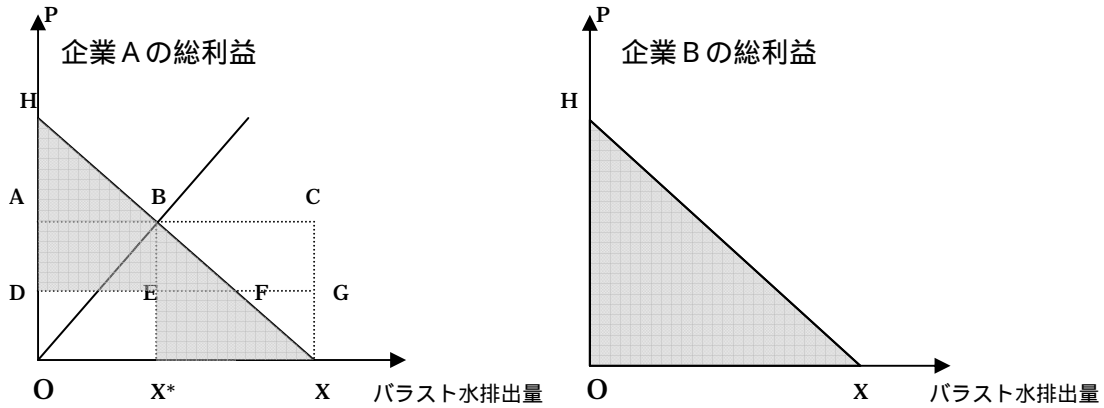
(グラフ6)



企業Bに関してみると、汚染税がかからないことから、利益の最大化のため Q^* までバラスト水を排出する。また、バラスト水の排出による汚染が無い場合、 Q^* が最適汚染量 Q^* と同値になる。したがって、企業Bの総利益は OHX となる。

[企業Aと企業Bの比較]

(グラフ5')と(グラフ6)を以下に再び示し、互いの総利益を比較する。



両者の総利益を比べると、企業Aに関して、政府の税収である ODE^* の利益のマイナスがあるため、(企業Aの総利益) < (企業Bの総利益) となっている。(仮定よりバラスト水排出によるそれぞれの限界利益曲線が等しいことから、企業Aの OHX と企業Bの OHX は等しいため。) これは上記のような仮定のもとで、汚染税と汚染補助金を組み合わせた政策をとった場合、企業B；バラスト水の処理装置を設置した船舶 による貿易活動を行ったほうが、企業A；バラスト水の処理装置が未設置の船舶 による貿易活動よりも利益をあげることができるということである。つまり、企業Aは、バラスト水処理装置を自社の船舶に設置することによって、収益を増やすことが可能であるため、バラスト水処理装置を設置するインセンティブが生まれるのである。

しかし、企業Aがバラスト水処理装置を設置する上で、重大な問題となるのがその設置コストの負担である。ここで先ほど述べた、税制中立の考えで政府の余剰分であった税収 ODE^* を考え、この ODE^* 分を「企業Aがバラスト水処理装置設置するための補助金」として配分する。企業Aの利益の一部を政府が一旦税収として回収し、それをまた処理装置設置という目的のもと、変換する形をとるようにする。つまり政府は、間接的に企業Aに処理装置を設置させるように導いているのである。したがって、実質的には、企業Aは自らの利益の一部を、処理装置設置の費用に充てることになるのである。税として納めたお金が、補助金というかたちで戻ってくるということと、処理装置を設置してしまえば、その後の貿易活動において追加的な収益 (ODE^* 分) が生まれるということは、企業Aにとって設置に踏み切る十分なインセンティブとなるのではないか。

ここで、オーストラリアの課徴金制度と比較し、このモデルの利点を考えてみる。3-1で述べたように、オーストラリアの課徴金制度には主に3つの問題点が存在していると考えられた。

その3つとは、 バラスト水の根本的解決をもたらすか
 課徴金額 の大きさ (= 最適船舶量の実現できるか)
 バラスト水処理装置設置のインセンティブをあたえるか

であった。ここで言う問題点 は根本的解決が、バラスト水の排出量が全くのゼロである場合か、処理装置によって完璧に処理されるかのどちらかであると考えられ、前者は船の構造上、現在の状況では現実的に不可能であるため、 が解消され、船舶に処理装置が設置されることによって の問題点が解消されるとすると、以上のことから、汚染税・汚染削減補助金による政策には少なからずバラスト水処理装置設置のインセンティブを与え、このことによって、バラスト水問題の根本的な解決に結びつく、少なくともその可能性があると見える。さらに、汚染税と汚染削減補助金を組み合わせることによって、汚染税率 T を設定すると、汚染削減効果は税率 $2T$ と同様の効果を得ることができた。これは、低い税率でも最適汚染量を実現する可能性が高いことを示しており、オーストラリアの課徴金 に比べて有効であるといえる。

まとめ

以上まで、現在の国際貿易船舶によるバラスト水によって引き起こされる、海洋生態系被害について見てきた。国際貿易量は 1900 年代中頃から増加し、これからも今まで以上のペースで増加すると予測されており、その国際貿易において海上輸送は主となる手段となっている。その海上貿易の過程において、各国間を移動するバラスト水量は年間 120 億トンにのぼり、1 隻あたりのバラスト水に含まれる約 500 種の動植物やプランクトン、ウイルスが他海域で排出され、排出海域の海洋の生態系を駆逐し、変化させてしまっている。人は、海に存在する生物、海という環境そのものから様々な恩恵を受けている。また、海に境は無く、すべての国々をつないでいるものであるため、このバラスト水の対策というものは、全世界の国々が協力して解決しなければならない世界規模での環境問題の 1 例であるといえる。もしこのままバラスト水に対して完全な対策がなされないならば、例えば数年後、数十年後という近い将来には、バラスト水によって非意図的に移入された赤潮プランクトンが繁殖し、全ての海の風景が一変してしまう可能性があるのは否定できないのである。

バラスト水の根本的な原因は、非在来種のバラスト水への混入と排出であるため、解決策としては、バラスト水に生物が混入しないようにするか、排出時に混入されていた生物を殺滅することである。そこで現在実行されている、バラスト水の処理方法として、洋上バラスト水交換と物理的・化学的処理の 2 つから、より完全な解決策である後者の処理を行う装置を全ての船舶に設置することができないかどうかを考えてみた。また現在進行形のバラスト水被害、汚染を少しでも食い止めるため、船舶への装置の設置までバラスト

水の排出量を減少させる必要がある。

ここで私が提案したのが、バラスト水排出 1 単位に対しての汚染税と、バラスト水排出削減 1 単位に対しての汚染削減補助金を組み合わせである。適切な処理のされていないバラスト水に対して、その排出にある率の税を汚染税として課し、それと同時にバラスト水排出を削減した場合、その削減量に対して汚染税と同率の汚染削減補助金を現在の排出量から最適汚染量（バラスト水排出による限界利益曲線とバラスト水排出による限界不効用曲線の交点）までの削減の間で与えるものとするものである。企業は現在からバラスト水の排出量を 1 単位削減することで、一定の汚染量の支払いを免れると同時に、排出削減によって失う利益以上の補助金を受け取ることができる。このときの汚染税率（＝削減補助金率）を、汚染税（汚染削減補助金）のみで最適汚染量を実現しようとした場合の税率の 1/2 に設定することによって、以上のような企業の行動はバラスト水排出量が汚染最適量になるまで行われ、汚染最適量のバラスト水排出が実現される。この組み合わせ方式に基づく対策は、汚染税のみで最適汚染量を実現しようとした場合に比べ、その汚染税率が 1/2 であり、また補助金によって補填されるというところから、企業に対しては受け入れやすくなり、経済の中核である貿易活動に従事する企業の退出・参入におよぼす影響は格段に低くなると考えられる。

また、排出削減補助金は最適汚染量までの削減に対して与えられるとしているので、このとき最適汚染量のバラスト水排出を行った企業が支払った汚染税額＝《排出量（最適汚染量）》×（汚染税率）は政府の歳入となる。ここで、この汚染税収入は汚染対策費用として利用されるべきであると考え、バラスト水処理装置の設置に対する補助として再配分することを考えてみた。物理的・化学的処理を行うことによって、バラスト水に混入され、排出される生物を限りなく 0 に近づけることができるが、その装置の設置にはコストが発生してしまう。ここで、この装置の設置に対して補助を与え、企業の装置設置を促進させることができるのではないか。さらに、汚染税はバラスト水の適切な処理がなされていない船舶に対して課されるとしているため、装置の設置によって税の支払い分が、企業の利益となることから、企業に装置設置のインセンティブを与えることも可能となるのではないだろうか。この結果、バラスト水の排出量は最適汚染量を実現し、さらに船舶にバラスト水処理装置を設置する方向に進むようになる。そして、将来的には全ての船舶に対して処理装置が設置されるようになれば、バラスト水による生態系の破壊が 0 の貿易活動の実現が可能になるのではないだろうか。

日本のみならず、世界的にも種の絶滅、生物多様性の喪失は、人類の文明化と逆比例するかのよう急速の増加してきた。生物多様性の喪失は、生物の進化上かつてなかったような状況をもたらしている。この生物多様性が失われることは、人類の存亡にも関わるような 2 つの重大な問題を含んでいるのである。1 つは、生物資源や遺伝子資源の枯渇であり、もう 1 つは生態系の機能変化や不安定化の助長である。生態系は、食物連鎖で知られるように、様々な種の生物がそれぞれ繋がり、関係をもち存在している。その生態系に

において、一部がほころび始めるとその影響は人類を含め、すべての生物へと広がっていつてしまうのである。ここに、海洋生物の生態系に限らず、世界に存在するすべての生物の生態系に関する報告・予測があり、以下に挙げる。

維管束生物の現生種は25万種であるが、すでに過去100年間に1000種が絶滅し、今後50年間に6万種が絶滅すると予測されている。

地球全体では、今後20 - 30年間に種多様性の25%が失われる可能性がある。

毎年、主に昆虫の未記載種の数千種が絶滅しつつある。

毎年、17500種あるいは現生種の0.1%が失われつつある。

今後50年間に陸上の種の半分が絶滅する。

1990年から2015年までの間に地球上の種の2 - 13%が絶滅する。

(未来 Net より)

生物多様性の低下には、生態系に対して何らかの生態系の機能の変化や安定性の低下を伴う危険があると考え、少なくとも保全目標を現状の生物多様性の維持におくことが重要である。つまり、それはどの種も絶滅させないということであり、現段階では、どの種も絶滅させること無くすべての種が生存できるように環境を保全することが、生態系保全の唯一の対策として認識されなければならないのである。

バラスト水による生物の移入問題は、時間が経つにつれて改善されるのではなく、逆に悪化していく可能性を十分に秘めた環境問題である。そのため、「どの種も絶滅させること無くすべての種が生存できる環境」を守るためには、全世界の国々がバラスト水の適切な処理、バラスト水に混入される生物をゼロにする方法を確立することが急務である。

以上

参考文献

- 日本海洋学会編（1994）『海洋環境を考える』 - 海洋環境問題の変遷と課題 - ，厚生閣
瀧澤 宗人（1995）『船舶を変えた先端技術』，成山堂書店
宮澤 啓輔監修（2001）『海と大地の恵みのサイエンス』，共立出版株式会社
日本海洋学会編（2001）『海と環境』，講談社
村田 良平（2001）『海洋をめぐる世界と日本』，成山堂書店
日本海洋学会編（1991）『海と地球環境』，東京大学出版会
須藤 英雄編（1994）『海からみた地球環境』，成山堂書店
菊地由美子編（2004）『150人のオピニオン』，財団法人シップ・アンド・オーシャン財団
海洋政策研究所
川口弘一・平啓介訳 ジョン・パーネット編（2004）『世界 海の百科図鑑』，東洋書林
柴田 弘文（2002）『環境経済学』，東洋経済新報社
池田三郎（2004）
気候変動におけるグローバル環境災害リスク - 侵入生物種の増大と生物多様性の保全 -
船舶バラスト水による海洋生態系影響の事例

佐藤 武宏（2004）船舶による非意図的移入と日本の海の生き物の変化，環境情報科学
Unintentional Introduction caused by Seaborne Transportation, and Deformation
Japanese Seashore Faunas
社団法人 日本船主協会統計データ
Australian Quarantine and Inspection Service AQIS Fact Sheet

参考 Web

- Think about Marine Environment! (<http://www.nature-n.com/mrn/htm>)
環境省 (<http://www.env.go.jp>)
海を渡る生物(<http://www.aunj.org/seatoday.html>)
農林水産省ホーム(<http://www.maff.go.jp/kaigai/1998/19980805australia05d.htm>)
Kankyo-web(<http://www.kankyo-web.net>)
西日本新聞(<http://www.nishinippon.co.jp>)
商船三井(<http://www.mol.co.jp>)
ECO goo(<http://www.eco.goo.ne.jp>)
日本財団(<http://nippon.zaidan.info/>)
未来 Net(<http://www.sea.pref.mie.jp/mirainet/>)

f