慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	使用済みFRP船舶の静脈物流費用について：第1次輸送の実証実験結果の分析
Sub Title	An analysis of transportation costs of used FRP pleasure boat
Author	細田, 衛士(Hosoda, Eiji)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2008
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.100, No.4 (2008. 1) ,p.885(1)- 900(16)
JaLC DOI	10.14991/001.20080101-0001
Abstract	国土交通省は, 平成14年度広島県廿日市市と因島市において, 使用済み小型船舶の1次保管場所への運搬に関する実証実験を行った。この実験データを用いて統計解析した結果, 収集・運搬費用は, 自治体ルートと舟艇工業会ルートで有意に異なることが分かった。また陸上輸送にするか海上輸送にするかによっても収集・運搬費用は有意に異なることが分かった。重回帰分析の結果によれば, 自治体ルートよりも舟艇工業会ルートの方が約12,000～20,000円/隻安く, 海上輸送よりも陸上輸送の方が約6,000円/隻安くなることが判明した。 The Ministry of Land, Infrastructure and Transport performed an empirical experiment in 2002 in Hiroshima Prefecture's Hatsukaichi and Innoshima cities, related to the transportation of used small boats to a primary storage area. The result of statistical analysis of the experimental data clarified that collection and transport costs from the municipality route significantly differ from the boating industry association route. In addition, depending on whether opting for land transport or maritime transport, collection and transportation costs significantly differ. The results of multiple regression analysis revealed that the costs for the boating industry association route are approximately 12,000 to 20,000 Japanese Yen per vessel cheaper than the municipality route; land ransportation is cheaper than maritime transport by approximately 6,000 Japanese yen per vessel.
Notes	小特集：環境経済学の新展開(下)
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20080101-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

使用済み FRP 船舶の静脈物流費用について ―第 1 次輸送の実証実験結果の分析―
An Analysis of Transportation Costs of Used FRP Pleasure Boat

細田 衛士(Eiji Hosoda)

国土交通省は，平成 14 年度広島県廿日市市と因島市において，使用済み小型船舶の 1 次保管場所への運搬に関する実証実験を行った。この実験データを用いて統計解析した結果，収集・運搬費用は，自治体ルートと舟艇工業会ルートで有意に異なることが分かった。また陸上輸送にするか海上輸送にするかによっても収集・運搬費用は有意に異なることが分かった。重回帰分析の結果によれば，自治体ルートよりも舟艇工業会ルートの方が約 12,000～20,000 円/隻安く，海上輸送よりも陸上輸送の方が約 6,000 円/隻安くなることが判明した。

Abstract
The Ministry of Land, Infrastructure and Transport performed an empirical experiment in 2002 in Hiroshima Prefecture's Hatsukaichi and Innoshima cities, related to the transportation of used small boats to a primary storage area. The result of statistical analysis of the experimental data clarified that collection and transport costs from the municipality route significantly differ from the boating industry association route. In addition, depending on whether opting for land transport or maritime transport, collection and transportation costs significantly differ. The results of multiple regression analysis revealed that the costs for the boating industry association route are approximately 12,000 to 20,000 Japanese Yen per vessel cheaper than the municipality route; land transportation is cheaper than maritime transport by approximately 6,000 Japanese yen per vessel.

「三田学会雑誌」100 巻 4 号（2008 年 1 月）

使用済みFRP船舶の静脈物流費用について

——第 1 次輸送の実証実験結果の分析——*

細　田　衛　士†

要　　旨

国土交通省は，平成 14 年度広島県廿日市市と因島市において，使用済み小型船舶の 1 次保管場所への運搬に関する実証実験を行った。この実験データを用いて統計解析した結果，収集・運搬費用は，自治体ルートと舟艇工業会ルートで有意に異なることが分かった。また陸上輸送にするか海上輸送にするかによっても収集・運搬費用は有意に異なることが分かった。重回帰分析の結果によれば，自治体ルートよりも舟艇工業会ルートの方が約 12,000〜20,000 円／隻安く，海上輸送よりも陸上輸送の方が約 6,000 円／隻安くなることが判明した。

キーワード

使用済み FRP 小型船舶，1 次輸送費用，収集ルート，収集方法，静脈物流費用

1.　はじめに

廃棄物やリサイクルの問題というと，これまで内陸（陸上）に係わる問題が取り上げられることが多かった。しかし海洋における廃棄物・リサイクルの問題も，内陸のそれと同様重要である。とりわけ，最近注目されているのが使用済み FRP 小型船舶[(1)]の処理問題である。

FRP 小型船舶の廃船数は毎年増加しつつあるが，近い将来には毎年 10,000 隻発生するとの予測

＊　本研究は，国土交通省海事局舶用工業課の「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト」の実証実験データによっている。筆者は，このプロジェクトの経済性評価ワーキング・グループの委員として，間接的にこの実証実験と係わった。このデータを学術研究へ利用することを許可して下さった同省舶用工業課にこの場を借りて謝意を表したい。

†　本論文作成の過程で，藤川清史（甲南大学），松波淳也（法政大学），牧厚志，蓑谷千鳳彦，宮内環（以上慶應義塾大学）の先生方，及び宮部直行氏（ゴールドマン・サックス証券株式会社）より貴重なコメントを頂戴した。また，2007 年 3 月に行われた経済学会コンファレンスの参加者からも貴重なコメントを頂戴した。記して謝意を表したい。尚，当然のことながら，有り得べき誤りはすべて筆者に帰するものである。

(1)　FRP とは Fiber Reinforced Plastic の略である。ガラス繊維とポリエステル樹脂の積層複合材であり，強化繊維プラスチックとも呼ばれる。

もある（[3]，p.11）。小型船舶に限らず，一般に使用済み FRP 素材の適正処理・リサイクルは困難である。しかし使用済み小型船舶の場合，港湾に散在する船舶を収集・運搬しなければならないという特有の問題がある。あえて言うまでもなく，適正処理・リサイクルを行うためには費用を極小化することが必要である。そのためには，船舶の収集・運搬をより効率的に行わなければならない。

これまで，小型船舶の処理・リサイクルはユーザーと処理業者の相対（あいたい）ベースで行われており，適正な収集・運搬費用，処理費用が明らかではなかった。また多くの場合 1 隻ごとに処理されていたため，効率的な収集・運搬，処理が行われていたとは思えない[(2)]。

国土交通省は，使用済み FRP 小型船舶の適正処理・リサイクルのためのシステムを構築すべく技術面，経済面で実証実験を行ってきた。その一環として，港湾に散在する FRP 小型船舶を 1 次保管場所まで収集する実証実験を廿日市市および因島市で行った。使用済み小型船舶をシステマティックに収集・運搬したのは今回の実証実験が最初であり，この実験によって初めて効率的な収集・運搬費用に関するデータが得られたと思われる。本論文は，この実証実験で得られた結果の解析を行い，どのような要因が収集・運搬費用に影響を与えるのか明らかにする。

以下，次節では使用済み FRP 小型船舶の適正処理・リサイクル問題を素描し，第 3 節では実証実験の内容を簡単に説明する。第 4 節では収集場所（廿日市市と因島市）および収集ルート（自治体と舟艇工業会）によって使用済み FRP 小型船舶の属性がどのように異なるか説明し，第 5 節では，収集・運搬費用を決定する要因を特定する。第 6 節をもって全体のまとめとする。

2. 問題の所在

2.1 使用済み FRP 小型船舶問題とは

海洋スポーツの普及とともに，20 トン未満の小型船舶の保有隻数は順調に伸びてきた。現在日本には約 35 万隻の小型船舶が保有されていると見られている。なかでも舟艇の長さが 3〜8m のいわゆるプレジャー・ボートが大半を占めている（[3]，pp.5–6）。

こうした小型船舶のうち 90% が FRP を素材として用いている。FRP は軽くて強く，しかも加工しやすいので，プレジャー・ボートのような小型船舶の素材としては大変優れた素材なのである。国土交通省（[3]，p.9）のサンプル調査によれば，FRP プレジャー・ボートの艇体総重量のうち 80〜90% が FRP である。

このように FRP は，その利便性のゆえに多用されているのであるが，使用済みになって処理する段階になると大きな問題が生じる。すなわち，その頑健な強度が破砕を困難にし，このため適正処理の費用が大きくなってしまうのである。従来，処理費用は，舟艇の長さが 3〜5m のもので約 20

（2） この点に関して，[2]pp.14–16 参照。

万円，7m クラスのもので約 30〜40 万円かかっていると見られている。

FRP プレジャー・ボートの製品価格は約 200 万円から 400 万円であり，処理費用が製品価格の 10% にもなってしまう。使用済み自動車の処理・リサイクル費用が新車価格の約 1% であることを考えると，非常に高い処理費用と言えよう。こうした高い処理費用を避けて，未処理のまま舟艇を放置するユーザーも多い。使用済み船舶が長く海洋に放置されると，沈んでしまうこともある。一旦沈んだ舟艇を海中から引き上げて適正に処理するのは，曳航可能な舟艇を処理するよりもはるかに高い費用がかかる。できるだけ安価な処理システムの構築が期待される所以である。

2.2　適正処理・リサイクルシステム構築の必要性

このように処理費用が高いのにはそれなりの理由がある。これまで使用済み FRP 小型船舶を体系的に処理する仕組みがなかったのである。船舶を廃棄したい人は，何らかの方法で処理業者を探し出し，処理を依頼しなければならなかった。この取引は，ほぼ相対(あいたい)取引であった。したがって舟艇を廃棄するユーザーは，ほぼ「言い値」で処理を依頼することになりやすい。これがゆえに処理費用の高止まりを許してきたものと想定される。健全な市場がなければ，こうしたことが起きるのも当然のことである。

もちろんこれのみが処理費用の高いことの説明要因ではない。実際，これまで適正処理・リサイクルシステムがなかった訳であるから，FRP 小型船舶を破砕しても埋立処分するしか道はなかったのである。最終処分場の枯渇している現在，埋立処理費用は上昇の一途をたどっており，従来のやり方だと処理費用が高くなるのは避けられない。最終処分場頼りの処理には限界がある。

使用済み FRP 小型船舶の適正処理・リサイクル費用を小さくするためには，体系的な収集・運搬と処理・リサイクルの仕組みが必要である。まず港湾に散在している船舶を効率的に収集しなければならない。1 隻ごとに集めていたのでは費用が高くなることは当然のことである。何隻かまとめて 1 次保管場所まで収集・運搬すると費用も小さくなる。

1 次保管場所まで集められた使用済み船舶は，そこで分別解体される。その後セメント工場などのリサイクル・プラントに搬送されてリサイクルされる。使用済み FRP は，適正に選別される限りセメント工場の焼成過程で原料として用いることができる。こうした処理を行えば，最終処分場で埋め立てるよりも安価になると考えられる。[(3)] また最終処分場を節約できるという意味で，質の良い処理が可能になるのである。

従来このようなシステムは日本に存在しなかった。国土交通省では，事態の深刻さに鑑み，早急に使用済み FRP 小型船舶の適正処理・リサイクルシステムを構築することを関連主体と検討して

(3)　もちろん使用済み FRP 小型船舶のすべての部分がリサイクルされるわけではなく，リサイクル残渣の一部は埋立処理される。しかし FRP 小型船舶が，従来言われているように重量比で 80〜90%FRP でできていれば，この残渣の割合はかなり小さいと思われる。

きた。その結果，2005 年度より業界の自主的取り組みとして，西日本の一部の地域で小型船舶のリサイクルシステムが立ち上げられた。しかし日本全国での効率的なシステム構築のためには，費用の大きさを推定し，最も費用の小さくなるようなシステムを設計・構築する必要がある。今回の実証実験は，おもに港湾に散在する使用済み小型船舶を収集し，1 次保管場所まで運搬する費用に関するものである。静脈物流は，処理費用の約 3 割を占める場合があるとも言われており，この費用の推定は効率的なリサイクルシステム構築に欠かせない情報となる。

3.　実証実験の概要

本節では，「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト」のもと，国土交通省海事局舶用工業課が行った使用済み FRP 小型船舶の収集・運搬に関する実証実験の概要を説明する。使用済み FRP 小型船舶の適正処理・リサイクルは，次のようなプロセスをたどる。すなわち，(1) 使用済み船舶の収集，(2) 1 次保管場所への輸送，(3) 1 次保管場所での分別・解体，(3) 中間処理プラントへの輸送，(4) 中間処理プラントでの破砕処理，(5) セメント焼成過程への投入（リサイクル），である。[(4)] 今回の実証実験は，(1) と (2) に関するものである。

使用済み FRP 小型船舶を収集する範囲として，広島県廿日市市と同県因島市の両市が選ばれた。廿日市市で収集・運搬された使用済み船舶の数は 56 隻であり，同じく因島市でも 56 隻の使用済み船舶が集められた。総計 112 隻の使用済み FRP 小型船舶を集めたことになる。このように大規模な実証実験は，日本で初めてのものである。

収集ルート（収集主体）として選ばれたのはは，自治体（すなわち廿日市市と因島市の両市）および舟艇工業会である。広島県をはじめとするいくつかの自治体では，既に使用済みプレジャー・ボート問題の対応に苦慮しており，処理の経験もある。[(5)] こうした背景の下，今回の実験にも両市は積極的に参加した。

一方，舟艇工業会はプレジャー・ボートなどをはじめとする小型船舶の生産者で構成される業界組織である。今後，FRP 小型船舶にも拡大生産者責任が導入されるようなことになれば，業界は相当の役割を担うことになる。舟艇工業会が，より安価なシステム構築に協力する動機は十分にある。また使用済み FRP 小型船舶の適正処理・リサイクルシステムの構築は，健全な海洋スポーツの発展にも資するものであり，この意味でも業界の積極的な参加は望ましいものであった。

廿日市市と因島市の両方で，それぞれ自治体ルートおよび舟艇工業会ルートで使用済み船舶が収

---

(4)　中間処理プラントはセメント工場に隣接することを想定しているので，中間処理プラントからセメント工場への輸送は省略してある。

(5)　個人のユーザーが廃棄したプレジャー・ボートは一般廃棄物であり，廃棄物処理法上，市町村などの自治体が処理責任を負うことになっている。

集・運搬された。その組み合わせの内訳は，廿日市市/自治体が 24 隻，廿日市市/舟艇工業会が 32 隻，因島市/自治体が 20 隻，因島市/舟艇工業会が 36 隻である。

収集方法としては，陸上輸送（陸送）か曳航かの 2 つである。場合によってはこれに台船を併用する場合が考えられる。曳航か陸送かで費用に差が出るかどうか，また台船を併用することで費用に差が出るかどうかということは，システム構築には重要な情報である。ちなみに収集方法として台船を用いているのは自治体ルートのみである。とりわけ因島市では陸送，曳航どちらの場合にも必ず台船を組み合わせて用いている。舟艇工業会ルートでは台船は用いられていない。

収集された使用済み FRP 小型船舶には様々な属性があり，それぞれ収集・運搬費用に影響を与える可能性がある。ここでは収集場所・主体や収集・運搬費用のほかに，舟艇の長さ，重量，FRP 重量，船齢，エンジンの有無などについてもデータを得た。

4.　使用済み FRP 小型船舶の属性の分析

本節では，廿日市市および因島市で収集・運搬した使用済み FRP 小型船舶の属性を分析する。また，収集場所（廿日市市，因島市）と収集ルート（自治体ルート，舟艇工業会ルート）に分けて属性の相違を見てみる。

4.1　実証実験で集められた使用済み船舶の属性

今回の実証実験で集められた船舶の定量化できる属性は表 1 によって表されている。舟艇の長さの平均は，約 5.9m である。母集団の平均は，概ね 5.6m から 6.2m の長さの範囲におさまっていると考えられるが，これは，いわゆる「小型船舶」を考えるときの従来の想定とほぼ一致している。舟艇長で最小のものは約 2m であり，最長 11m の船も集められた。今回の実証実験では，総じて従来想定されていた「小型船舶」が集められたと思って良いだろう。

総重量の平均は約 580kg であり，95% の信頼区間をとるとき，母集団の平均は 490kg から 660kg の重さの範囲に入っている。しかし 1t を超える重量の船もかなりの数収集されており，最大で 2.5t の重量の船舶も収集されている。最も軽いものは，60kg であった。

FRP の概算重量の平均は，381kg で総重量の約 66% である。国土交通省（[3]，p.9）によれば，小型プレジャー・ボートの重量の約 80〜90% が FRP 素材ということであるが，今回の実証実験で集められた小型船舶の重量における FRP の割合はそれよりも小さい。今回の実証実験には地元の和船あるいは漁船も入っており，このため FRP の比率が小さくなったのかもしれない。

船齢の平均は約 24 年である。95% の信頼区間を取ると，船齢の平均は概ね 23〜25 年の範囲におさまると見てよい。国土交通省（[3]，p.10）は，FRP プレジャー・ボートの耐用年数を 35 年としているが，今回の実証実験によると，多くの小型船舶が船齢 25 年前後で廃棄されていると思われる。

中には 32 年も使われている船舶もあるが今回の実験ではこれが最長船齢であった。

1 次収集・運搬費用であるが，平均は約 32,000 円であった。29,000 円から 35,000 円という 95% の信頼区間を考えると，1 次収集・運搬費用の平均は 3 万円前後と見てよいだろう。今回の実験では沈船を扱っていないので，この値はあくまでも沈船処理を考慮に入れない数字である。もし沈船の収容・収集が行われていれば，この値はかなり異なっていたであろう。沈廃船化する前に収集・運搬することの重要性が理解できる。

尚，以下に基礎的な記述統計量を示す。

表 1　実証実験で集められた小型船舶の記述統計量 1

変数	ケース数	平均	信頼限界（−95%）	信頼限界（+95%）	中央値
舟艇長	112	5.90	5.57	6.22	5.65
総重量	112	575.07	487.99	662.16	485.00
FRP 重量	111	380.95	328.45	433.46	325.00
船齢	109	23.55	22.48	24.62	25.00
収集費用	111	32022.52	28673.16	35371.89	30000.00

表 2　実証実験で集められた小型船舶の記述統計量 2

変数	最小値	最大値	分散	標準偏差	標準誤差	歪度	尖度
舟艇長	1.80	10.6	3	1.73	0.163	0.363	−0.96
総重量	60.00	2500.0	216322	465.10	43.948	1.686	3.331
FRP 重量	48.00	1300.0	77912	279.13	26.494	1.422	2.140
船齢	1.00	32.0	32	5.63	0.539	−1.541	3.590
収集費用	10000.00	125000.0	317061E3	17806.22	1690.091	1.838	6.599

4.2　収集場所による属性の相違について

独立 2 標本の t 検定（平均の差の検定）を行った結果，舟艇の長さ，総重量および FRP 概算重量に関して，収集場所（廿日市市か因島市かという場所）の違いによる有意な差は認められなかった。尚，廿日市市，因島市において集められた舟艇の長さ，総重量，FRP 概算重量の平均はそれぞれ，(5.97m, 5.83m)，(614.8kg, 535.3kg)，(403.4kg, 358.1kg) であった（いずれもカッコ内の第 1 要素は廿日市市，第 2 要素は因島市の値である）。

ただし，総重量および FRP 概算重量の分布は正規分布でない可能性が大きい[(6)]。実際，正規性の

(6)　一般的に，母集団が正規分布する場合，あるいはサンプル数が十分大きい場合，サンプルの平均の分布に関して正規分布を仮定しても差し支えない。しかし，使用済み製品の場合，エンジンを初めとするパーツの抜き取りなど人為的な手が加わっていることが多く，重量などの変数に関して母集団の分布に人為的な影響が出る恐れがあると思われる。このため母集団が正規分布でない可能性もある。ここでのサンプル数は小さいとは言えないので，以下のノン・パラメトリック分析は不要かもしれないが，分布の相違に関する検定も意味があるので，念のためコルモゴロフ＝スミルノフ検定を行った。

仮説を検定するため，リリフォース検定及びシャピロ＝ウイルク検定を行った。総重量に関しては，それぞれの検定について 1% で有意であり，また FRP 概算重量に関しても，それぞれの検定について 1% で有意であった。このように正規分布の仮定が疑われるので，念のため分布の正規性を仮定しないコルモゴロフ＝スミルノフ検定を行ったが，10% の水準でも有意ではなかった。したがって平均が等しいという帰無仮説は棄却できない。

一方船齢の平均値（廿日市市 21.2 年，因島市 25.8 年）は，有意水準 1% で廿日市市と因島市との間で有意な差が認められた。しかし船齢についても分布の正規性が問題になり得る。リリフォース検定及びシャピロ＝ウイルク検定いずれも 1% で有意であり，正規性の帰無仮説は棄却される。そこで，船齢に関してコルモゴロフ＝スミルノフ検定を行ったところ，両地域の船齢の分布は 1% で有意に異なることが分かった。正規性を仮定しても仮定しなくても船齢の分布（平均）に有意な違いがある。因島市で集めた使用済み船舶は，平均で約 4.5 年船齢が長い。船齢の差は，収集・運搬費用には影響しないだろうが，プラントにおける適正処理・リサイクルの費用には影響するかもしれない。

次に，2 つの地域での収集・運搬費用の平均値（廿日市市 30,878 円，因島市 31,476 円）に差があるかどうかを見た。[(7)] 独立 2 標本の t 検定を行う限り，10% の水準でも費用の平均に有意な差は認められなかった。しかし，2 つの地域で収集・運搬費用が正規分布をなしていない恐れがある。これまでと同様，運賃の分布に関して，リリフォース検定及びシャピロ＝ウイルク検定を行ったところ，1% の有意水準で正規性の仮説が棄却された。

そこで収集・運搬費用について，コルモゴロフ＝スミルノフ検定を行ったところ，1% の有意水準で両者の分布が等しいという帰無仮説は棄却された。このノン・パラメトリック分析にしたがう限り，2 つの地域において収集・運搬費用が異なると見て良いということになる。しかし独立 2 標本の t 検定との結果が微妙に異なるので，明確な相違があるかどうか断言することは難しい。

4.3　収集ルート（主体）による属性の相違について

次に，収集ルート（主体）によって，集められた使用済み FRP 小型船舶の属性についてどのような相違が存在するか見てみよう。まず舟艇の長さについてである（自治体ルート平均 5.66m，舟艇工業会ルート平均 6.06m）。収集ルートによって，舟艇の長さの分布の分散に相違があるかどうかレーベン検定を行ったところ，1% の有意水準で両者に有意な差が認められた。自治体が集めた舟艇の長さの標準偏差が 2.06 であるのに対し，舟艇工業会の集めたものは 1.47 であった。舟艇工業会の集めた舟艇の方が長さのばらつきが小さい。分散が異なる場合の長さの平均の差を検定したところ，10% 水準でも有意な差は認められなかった。

---

(7)　以下費用に関する分析では，112 番目のケースをはずれ値として除外する。明らかにこの数字は収集費用としては高すぎるからである。ただ，ケース 112 を含めて分析してもほとんど結論は変わらない。

次に総重量であるが（自治体ルート平均 570.2kg，舟艇工業会ルート平均 578.2kg），前項で述べたとおり，分布が正規分布でない可能性が大きい。だが，まず正規分布を仮定して総重量の分散および平均の差に相違があるかどうか調べてみた。レーベン検定によれば，5% 水準で分散が有意に異なる。自治体の場合標準偏差が 541.17 であるのに対し，舟艇工業会の場合標準偏差は 412.80 である。舟艇の長さの場合と同様，重量においても舟艇工業会の集めた船舶の方がばらつきが小さい。そこで異分散の仮定のもとに平均の差を検定（独立 2 標本の t 検定）してみたが，有意な差は認められなかった。一方，コルモゴロフ＝スミルノフ検定を行ってみたところ，5% 水準で有意な差が認められた。

FRP 概算重量についても総重量とほとんど同じ結果が得られる（自治体ルート平均 381.3kg，舟艇工業会ルート平均 380.7kg）。すなわち，2 つのルートで FRP 概算重量の分布の分散は 1% 水準で有意に異なる。しかし，両者の平均の差に有意な差は認められない。両者の平均はともに約 381kg であるが，標準偏差は自治体が 335.57 なのに対し舟艇工業会が 237.68 であった。やはり舟艇工業会の方がばらつきが小さい。一応コルモゴロフ＝スミルノフ検定を行ったところ，5% の有意水準で両者の分布に相違が認められた。

船齢については，上の結果とはやや異なる結果が得られた。自治体の標準偏差が 4.37 なのに対し舟艇工業会は 6.32 である。舟艇工業会の方がばらつきが大きい。しかしレーベン検定を行ったところ 10% 水準でも有意な相違が認められない。また，平均にも有意な差が認められない。ちなみに自治体の集めた船の船齢の平均は 23.24 であるが，舟艇工業会のそれは 23.75 であった。平均の差は大きくない。

最後に収集費用について述べる。まずレーベン検定を行った結果，5% の水準で 2 つのルートの間で分散に有意な差は認められない。一方平均については 1% 有意水準で有意な差が認められた。自治体の収集・運搬費用の平均が 43,256 円/隻なのに対し，舟艇工業会の方は 23,425 円/隻であった。平均で 2 万円近くの違いがある。

5.　費用の決定要因

本節では，収集・運搬費用を決定する要因について探る。収集ルート（主体）やその他船舶の属性以外で費用に影響を与える大きな要因として考えられるのは，収集・運搬方法（曳航か陸送か，台船を使用するか使用しないか）などである。次の項で，この点を分析する。第 2 項では，重回帰分析によって，収集・運搬費用の決定要因を特定する。

5.1　収集方法による費用の相違の分析

まず収集方法の相違として，陸送かそれ以外（陸送＋台船，曳航，曳航＋台船[8]）かという区別のもとに収集・運搬費用に違いが出るか見てみる。10% の水準でも両者の区別で分散に有意な差がないので，等分散のもとに平均の差を検定した。1% の有意水準で費用の平均に有意な差が認められる。陸送のみの場合費用の平均は 26,032 円/隻であるが，一部でも海上輸送を使う場合の費用の平均は 43,182 円/隻であった。1 隻あたり約 17,000 円の違いである。

次に台船を使用したケースを除外し，陸送か曳航かで収集・運搬費用に相違が出るか見る。レーベン検定で 1% 水準で両者の分散に有意な差が認められたので，異分散の仮定のもとに平均に差があるかどうか検定した。その結果 10% の水準でも平均に有意な相違が認められなかった。ちなみに費用の平均は，陸送の場合が，26,032 円/隻，曳航の場合が 31,091 円/隻であった。1 隻につき約 5,000 円の相違があるが，この相違は統計的には有意ではないのである。さて，台船を使用したケースを除外せず，陸送（台船使用も含む）と曳航（台船使用も含む）で同様な検定を行ったところ，5% の有意水準で両者の費用の平均に有意な相違が認められた。前者の費用の平均が 29,672 円/隻であるのに対し，後者は 39,412 円/隻になり，約 10,000 円/隻の差が生じる。費用への影響に関して，陸送か曳航かという収集方法の相違は微妙である。

最後に，台船の使用，不使用で費用に影響が出るかどうか見てみる。両者の費用分布に関して等分散と仮定してよいので，この仮定のもとで平均に差があるかどうか検定した。1% の有意水準で両者の平均には有意な差が認められる。台船なしの場合の費用の平均は 26,665 円/隻であるのに対し，後者の場合 49,227 円/隻である。1 隻につき 23,000 円近くの差が生じる。これは非常に大きな相違と言える[9]。

5.2　回帰分析による収集・運搬費用の要因解明

以上検討したように，収集・運搬費用は収集ルートによっても，また収集方法によっても異なる。また当然舟艇の長さや重量によっても影響されるかもしれない。本項では，次のような方法で費用決定要因の分析を行った。すなわち，収集・運搬費用に影響を与えることが予期される要因をあらかじめ選び，次に重回帰分析において前進ステップワイズで F 値が高くなるように決定要因を選んだ[10]。収集方法に関しては，以上見たように 3 つのケースが考えられる。すなわち（1）陸送のみかそれ以外（陸送＋台船，曳航，曳航＋台船），（2）陸送か曳航か，（3）台船を使うか使わないか，の 3 通

（8）　台船も船の一種であるので，この区別は陸上のみの輸送に頼るか，もしくは一部でも海上輸送を利用するかという区別になる。

（9）　念のため，コルモゴロフ＝スミルノフ検定を行ったが，1% の水準で両者の分布に有意な差が認められた。

（10）　F-in 値は 1 に設定した。

りである。更に，（2）のケースは（2-1）台船を使ったケースを省く場合，（2-2）台船を使ったケースを含める場合のサブ・ケースに分かれる。[11]

[ケース 1]

前進ステップワイズ重回帰分析の説明変数としてあらかじめ選んだものは，収集場所ダミー（PL），収集ルートダミー（RT），舟艇長（LTH），総重量（WGT），FRP 概算重量（FRP），エンジンの有無ダミー変数（EG），収集方法ダミー（CL，この場合陸送のみかそれ以外）である。[12] 結果として選ばれた変数は，収集ルートダミー（RT），舟艇長（LTH），そして収集方法ダミー（CL）であった。[13]

ここでの回帰分析は，

$$COST = C + a_0 RT + a_1 LTH + a_2 CL + u$$

というモデルについてである。しかし，BP テストの結果，上のモデルを推定したのでは不均一分散が生じることが分かった。誤差項の分散が舟艇長の 2 乗に有意に影響を受けるのである。

そこですべての変数を舟艇長で割ったものを回帰分析した。すなわち，

$$\frac{COST}{LTH} = C + a_0 \frac{1}{LTH} + a_1 \frac{RT}{LTH} + a_2 \frac{CL}{LTH} + u$$

というモデルを想定して回帰分析を行った。その結果，不均一分散は認められなくなり，しかもすべての統計量が改善された。[14] 尚，以下のすべての分析で，2 次の RESET テストはクリヤーしている。

回帰分析の結果は表 3 に示してある。収集ルートダミー，舟艇長，そして収集方法ダミーすべてに関して 1% 水準で有意であった。[15]

収集ルートが自治体の場合より舟艇工業会の場合の方が，1 隻あたり費用が約 17,000 円弱安くなる。これは前節の分析結果と一貫している。また，舟艇長が 1m 長くなると費用は約 3,500 円高くなる。プレジャー・ボートが大型か小型かによって収集・運搬費用に大きな差が生じることがわかる。収集方法に関しては，陸送のみの方法は，それ以外の方法より 1 隻につき約 6,300 円安くなる。すなわち曳航にしろ台船にしろ，一部でも海上輸送を使うと収集・運搬費用は高くなるのである。

（11） ここでの回帰分析でも，ケース 112 ははずれ値として分析から除外してある。

（12） 以下，収集方法ダミー変数として，廿日市市には 0，因島市には 1 を，収集ルートダミー変数としては，自治体には 0，舟艇工業会には 1 を，収集方法ダミー変数としては，陸送には 0，曳航（陸送以外）には 1，あるいは台船不使用には 0，台船使用には 1 を与えた。

（13） ダミー変数の入れ方は，切片を変化させる方法と，傾きを変化させる方法，その両方の方法がある。切片に影響させるダミー変数の入れ方が各統計量を良くし，また経済的な意味合いから言っても自然なので，ここではこの方法に従った。

（14） 以下すべての分析において，変数そのままの値で回帰分析を行うと同様の不均一分散が認められたので，各変数を舟艇長で割った値について回帰分析した。

（15） 以下の表で，* は 5% 水準で有意であることを，また ** は 1% 水準で有意であることを示す。

表 3　ケース 1　重回帰分析の結果

	$n = 110$ $F = 75.555$	$R^2 = 0.681$ $p < 0.000$	Adjusted $R^2 = 0.672$ Estimated S.E.: 1737.44	
	切片	$1/LTH$	RT/LTH	CL/LTH
回帰係数	3521.57**	18758.8**	−16639.3**	6252.62**
t 値	6.531	6.493	−7.761	2.956
p 値	0.000	0.000	0.000	0.004

この結果から，収集ルートとしては舟艇工業会を選び，収集方法としては陸送を選ぶことが費用を小さくすることが分かる。自治体＋海上輸送という組み合わせは，舟艇工業会＋陸送のみという組み合わせより，約 25,000 円も高くなることになる。

[**ケース** 2]

あらかじめの変数の選択は，[**ケース** 1] と同じだが，収集方法ダミーの内容が，この場合，サブケース 1：陸送のみもしくは曳航のみ，サブケース 2：陸送（台船使用も含む）もしくは曳航（台船使用も含む）となる。

• サブケース 1：前進ステップワイズ重回帰分析によって選ばれた変数は，収集ルートダミー（RT），舟艇長（LTH），そして収集場所（PL）であった。こうして変数を選んだ後，費用およびこれらの変数を，すべて舟艇長で割った変数について回帰分析を行った。はじめの 2 つの変数（実際は，舟艇長で割った変数）は，1% 水準で有意であったが，収集場所は 5% 水準でも有意ではない。また調整済み決定係数も，0.46 と [**ケース** 1] の結果よりかなり低い。

更に重要なことは，収集方法ダミーが説明変数として残っていないということである。すなわち，台船を用いないケースのみで回帰分析を行うと，陸送と曳航の区別は費用決定に対して有意に効いてこないのである。

• サブケース 2：前進ステップワイズ重回帰分析によって選ばれた変数は，サブケース 1 と同様であり，各係数の有意水準についても結果はサブケース 1 と同じである。ここでも収集方法は費用決定に有意に影響しない。

2 つのサブケースで共通なのは，収集ルートと舟艇長の費用に与える定性的な性格である。どちらのサブケースでも，収集ルートは自治体の方が費用が高くなる。また舟艇長に応じて費用も大きくなっている。ただ，定量的な結果には違いが生じる。収集ルートの相違の費用への影響は，サブケース 1 の場合 12,000 円/隻の差なのに対し，サブケース 2 では差が 20,000 円/隻と大きくなっている。舟艇長の影響にも違いが見られる。サブケース 1 の方が 2 より，約 700 円小さくなっている。

2 つのサブケースで最も大きな相違は，収集場所ダミーの符号が逆になっているということである。サブケース 1 では，廿日市市より因島市が約 4,000 円/隻安くなっているのに対し，サブケース

表 4　ケース 2-1　重回帰分析の結果

	$n = 88$ $F = 25.842$	$R^2 = 0.480$ $p < 0.000$	Adjusted $R^2 = 0.461$ Estimated S.E.: 1625.10	
	切片	$1/LTH$	RT/LTH	PL/LTH
回帰係数	2807.98**	20837.5**	−12018.5**	−4016.51
t 値	4.001	5.937	−4.765	−1.779
p 値	0.000	0.000	0.000	0.079

表 5　ケース 2-2　重回帰分析の結果

	$n = 110$ $F = 69.970$	$R^2 = 0.664$ $p < 0.000$	Adjusted $R^2 = 0.655$ Estimated S.E.: 1782.92	
	切片	$1/LTH$	RT/LTH	PL/LTH
回帰係数	3648.22**	20623.7**	−20350.2**	3036.04
t 値	6.441	7.027	−10.814	1.721
p 値	0.000	0.000	0.000	0.088

2 では逆に因島市の方が廿日市市より約 3,000 円/隻高くなっている。このような逆転は，台船を用いたのがほとんど因島市（すべて自治体ルート）であることによるものと思われる。すなわち，陸送か曳航かということよりも，台船を使用するかしないかということの方が収集・運搬費用により大きな影響を与えるということが示唆されるのである。そこで最後に，台船使用・不使用の費用への影響を分析する。

[ケース 3]

前進ステップワイズ重回帰分析によって選ばれた変数は，収集ルートダミー（RT），舟艇長（LTH），そして収集方法ダミー（CL）であった。各変数を舟艇長で割った変数に関して回帰分析を行った。各係数はすべて 1% の水準で有意である。**[ケース 1]** の結果とほぼ同様に，収集ルートを自治体から舟艇工業会にかえることで，費用は 1 隻あたり約 15,000 円安くなる。また舟艇長の費用への影響は 1m あたり約 3,700 円となっている。

台船の費用への影響であるが，台船を使用すると，不使用の場合に較べて 1 隻あたり約 9,000 円も高くなる。台船使用は，収集・運搬費用を非常に高いものとすることが分かる。

表 6　ケース 3　重回帰分析の結果

	$n = 110$ $F = 82.590$	$R^2 = 0.700$ $p < 0.000$	Adjusted $R^2 = 0.692$ Estimated S.E.: 1684.82	
	切片	$1/LTH$	RT/LTH	CL/LTH
回帰係数	3742.88**	16707.9**	−15231.3**	9286.67**
t 値	7.092	5.776	−7.156	4.002
p 値	0.000	0.000	0.000	0.000

6. 考察——政策的含意——

6.1 第 1 次輸送のコーディネートの問題

本節の重回帰分析の結果から得られる重要な政策的含意について考察する。使用済み FRP 小型船舶の第 1 次収集費用は，収集ルート，収集方法，舟艇の長さ（場合によっては地域）に依存することが分かった。特に収集ルートに関して，小型船舶製造業からなる舟艇工業会のコーディネートしたルートの方が自治体のコーディネートしたルートより安く収集できることが明確になった。なぜ舟艇工業会ルートの方が自治体ルートより安いのであろうか。本実証実験を担当した関係者によると，重要な理由として次のような理由が挙げられる。

1. ここでいう舟艇工業会ルートとは，実質的には小型船舶を販売する「販売店」が経由となって収集運搬するルートのことである。販売店は，自治体が収集委託する業者よりも小型船舶の扱いに慣れており，効率的な回収方法も熟知している。
2. 販売店には費用を節約しようという動機があるが，一方自治体には費用節約の動機がそれほどない。
3. 販売店は，新艇販売のために，費用を割り引いても顧客に対してより安い収集費用を提示しようとする動機を持つ。

以上の要素に加えて，将来は「学習効果」（Learning by Doing）の効果が現れれば，舟艇工業会ルートの第 1 次収集費用は，自治体ルートのそれに比べてより小さくなる可能性さえある。一般的に業界組織がコーディネートした市場の方が自治体のそれよりも費用節約的であるということは従来からも言われてきたが，実証実験によってこれほど明確な結果が出されたというのは初めてのことであり，注目すべきことである。

このことは 2 つの大きな政策的含意を持つ。使用済み製品の収集運搬という市場は，使用済み FRP 小型船舶の場合と同じように人為的に構築しなければならない場合が多い。[(16)] この人為的市場において，もし公共セクターよりも業界によるコーディネートの方が費用節約的であるならば，生産者に収集運搬の責任を負わせるということは経済的に意味のあることである。本実験結果はまさにこのことを示唆するのである。すなわち，いわゆる「拡大生産者責任」の意味が経済的に与えられることになる。

（16） 使用済み家電製品，使用済みパソコン，使用済み容器包装など，すべて収集運搬市場を人為的に構築しなければならなかった。

第 2 番目に，人為的に市場を構築するのに際し，業界団体（この場合舟艇工業会）という民間非営利組織が個別の生産者に代わって市場構築のコーディネートをするという点も，上記の点と同じく重要である。疎らに存在する使用済み製品を集めるには，個別生産者の個別行動によっては高くつく可能性が大きい。使用済み FRP 小型船舶の場合，実際それは困難である。静脈経済の市場形成における民間非営利組織によるコーディネートの重要性が示唆される。

6.2　第 1 次輸送費用のシミュレーション

前節の結果と，上の考察をもとに，使用済み FRP 小型船舶の収集を舟艇工業会がコーディネートすると仮定して第 1 次収集費用がどれくらいになるか，以下平均費用の推定を行う。推定の基礎として，前節のケース 1 で得られた推計結果を用いる。すなわち収集方法の判別としては，陸送かそれ以外（陸送＋台船，曳航，曳航＋台船）という区分を用いる。その結果が次の表に示されている。尚，以下の推定では舟艇の長さは 6m として計算してある。

表 7　舟艇長 6m の使用済み FRP 小型船舶の第 1 次平均輸送費用の推定

収集方法判別	−95% 信頼限界	予測値	+95% 信頼限界
陸送のみ	20,803 円	23,249 円	25,695 円
陸送以外	24,952 円	29,503 円	34,055 円

平均的な使用済み FRP 小型船舶を舟艇工業会ルートで 1 次輸送すると，陸送の場合 26,000 円以下ですむことがわかる。これは従来想定されていたよりもかなり小さな費用と言えよう。仮に，「陸送のみ」以外の方法（陸送＋台船，曳航，曳航＋台船）を用いたとしても，平均では 30,000 円以下，高くても約 34,000 円で輸送できる。この額とて，従来の相対取引における輸送費用と較べると格段に小さな額と考えられる。

以上の平均輸送費用の推定は，使用済み FRP 小型船舶のリサイクルシステムの全国展開にとって重要な示唆を与える。舟艇工業会ルートを有効に利用すれば，第 1 次輸送費用は従来に比較して相当節約できる。リサイクル費用全体に占める 1 次輸送費用の重みを考えると，1 隻 30,000 円以下の 1 次輸送は円滑なリサイクルを促進するものと考えられる。

7.　おわりに——結論にかえて——

以上の分析をまとめることによって結論とする。廿日市市と因島市とで使用済み FRP 小型船舶の収集および 1 次保管場所までの運搬の実証実験を行った結果，次のことが明らかになった。収集された船舶の船齢平均などを除いて両地域で船舶の属性はほぼ同じである。ただ，ノン・パラメトリック分析によると両地域における収集・運搬費用に有意な差が認められることになる。これは，

因島市で多く台船が使われたことによるものと思われる。

収集ルート別（自治体ルートか舟艇工業会ルート）では，費用を除いた各属性の平均に有意な差は認められなかった。収集・運搬費用については，自治体ルートの方が有意に高いことが分かった。これは，台船を使用しているのが自治体のみであることが大きく影響しているからである。しかし，台船を用いない場合でも舟艇工業会ルートの方が安くなることが重回帰分析の結果から分かる。

重回帰分析の結果分かったことは次のことである。収集方法をどのように区分しても，収集・運搬費用に有意に影響を与えるのは，収集ルートおよび，舟艇長であった。収集ルートを舟艇工業会にした方が自治体ルートにするよりも 12,000 円〜20,000 円程度安くなる。また舟艇が 1m 長くなると，収集・運搬費用は約 3,000 円〜3,600 円増加する。

収集方法としては，台船を使用するかしないかが収集・運搬費用の決定的な影響要因となる。台船を用いる場合，陸送もしくは曳航のみによる場合より 1 隻につき約 10,000 円も高くなる。

以上のことから，1 次保管場所までの収集・運搬費用をより小さくするためには，収集ルートとしては舟艇工業会，収集方法としては陸送のみを用いることである。陸送のかわりに曳航しても良いが，若干費用が高くなる可能性がある。なるべく台船は使わない方が費用は節約できる。

静脈物流市場は，なかなか自然発生的に生じることがない。したがって，人為的な形で市場を構築する必要がある。少なくとも第 1 次輸送費用に関する限り，今回の実証実験において自治体よりも舟艇工業会という小型船舶製造者業界が市場形成に関わった方が費用節約的であることが明確となった。このことは，拡大生産者責任を経済的に意味付けるものとも考えられる。

ただ，以上の結論は，本実証実験が人為的な環境のもとで行われたということによる留保条件のもとにあることを述べておく必要がある。台船を用いた場合，報道などの理由で作業の中断を余儀なくされたこともあった。こうしたことがなければ台船を使用した場合でももう少し費用が低減したかもしれない。また舟艇工業会ルートで台船を使用したらどのような影響が出るかも知りたいところである。今後の実験に待つ他はない。

また既に述べたとおり，現在舟艇工業会は国と協力して小型 FRP プレジャーボートを中心とした小型船舶の全国的なリサイクルシステムの構築を行っている。そのためには，収集運搬から始まり，1 次保管場所以降の中間処理・セメント焼成までの経路の整備が必要となる。このシステムが完成すれば使用済み FRP 小型船舶の処理費用の全体像が明らかになるだろう。収集・運搬からリサイクルまでの全費用が解明されるとしたら，業界そして国は説明責任を果たせるのみならず学術的な意味でも大きな貢献をすることになるに違いない。

（経済学部教授）

参 考 文 献

[1] 細田衛士（1999）『グッズとバッズの経済学』，東洋経済新報社。

[2] 桑名幸一（1996）『FRP 廃船処理の現実と問題点』，舵社。

[3] 国土交通省（2001）「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト平成 12 年度報告書」，国土交通省海事局舶用工業課。

[4] 国土交通省（2002）「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト平成 13 年度報告書」，国土交通省海事局舶用工業課。

[5] 運輸省（2000）「全国マリーナ整備方針及び放置艇収容方策推進検討調査報告書」， 運輸省港湾局環境整備課。

[6] （財）日本海洋レジャー安全・振興協会（1997）「FRP 廃船の処理体制に関する調査研究報告書」。