離島港湾の静穏度改善の便益評価 −奄美大島における事例研究−

垣本　悦来[1]・石黒　一彦[2]・竹林　幹雄[3]

[1]非会員　神戸大学大学院　海事科学研究科海事科学専攻（〒658-0052 神戸市東灘区深江南町 5-1-1）
E-mail:221w103w@stu.kobe-u.ac.jp

[2]正会員　神戸大学大学院准教授　海事科学研究科（〒658-0052 神戸市東灘区深江南町 5-1-1）
E-mail:ishiguro@maritime.kobe-u.ac.jp

[3]正会員　神戸大学大学院教授　海事科学研究科（〒658-0052 神戸市東灘区深江南町 5-1-1）
E-mail:takebaya@kobe-u.ac.jp

本研究では，奄美群島における海上輸送への依存度を確認することにより同地域における海上輸送の重要性を明らかにした上で，現行の港湾整備事業の費用対効果分析マニュアルの問題点を指摘し，新たな分析手法を提案することを目的としている．奄美群島において，人口一人当たりの港湾取扱貨物量と製造品出荷額当たりの港湾取扱貨物量がいずれも本土と比較して著しく高いことを確認した．現状の費用対効果分析マニュアルの問題点を明確にしたうえで，旅行費用法に類似した新たな便益評価手法を提案し，防波堤整備による港湾の静穏度改善便益の試算を行った．

Key Words: *Remote island, Liner ferry service, Tranquility improvement, Cancellation rate*

1. はじめに

持続可能な開発目標（SDGs）においては「No one left behind（誰も取り残さない）」という象徴的な言葉が掲げられている．その中でもマイノリティ向けのサービスについてより議論する必要がある．小島嶼開発途上国・地域向けのサービスは，その典型的な事例といえる．

国際民間航空機関（ICAO）[1]は，太平洋地域に位置する小島嶼国・地域のサービスレベルに着目している．2019 年，ICAO は PSIDS の現状を論じたワーキングペーパー「太平洋小島嶼開発途上国（PSIDS）航空ニーズ分析」を発表した．PSIDS は市場力が限られているため，適切な航空サービスを受けることができないと述べている．Hooper（2020）[2]は 2019 年の報告書を検討し，小島嶼開発国の航空サービスを改善する意義を強調した．この二つの事例では航空サービスについて述べられているが，同様に航空サービスに加え，海上輸送も改善する必要があると考えられる．

離島地域に関連する輸送の問題は，日本などの先進国でも抱えている．国土交通省(2022)[3]によると，2022 年 4 月現在，日本には6,847 島の離島があり，そのうち416 島が有人島である．離島には，領海や排他的経済水域の保全，海上交通の安全，海洋資源の開発・利用，海洋環境の保全，領土の安全保障などの様々な役割がある．日本政府は 1953 年から離島振興策を実施している．本研究で主に対象とする奄美群島も例外ではない．1954 年に制定された奄美群島振興開発特別措置法により，交通，産業，生活環境などの社会基盤が整備され，島の生活水準は着実に向上している．住民の生活や産業活動にとって重要な海上輸送については，航路の運賃や農林水産物の輸送コストの低減を中心に，多くの支援が行われてきた．奄美群島は振興策に基づき多くの支援を受けているのは事実だが，台風の多い地域であるため，頻繁に欠航が発生するという問題は解決されないまま残っている．

奄美群島の中心港湾である奄美大島の名瀬港の関係者にインタビューを行ったところ，（1）強風の影響で最大 4〜5 日連続で欠航することがある，（2）フェリーの大型化が安全重視と相殺されている，（3）船が大きいため入港できる港が限られていて避難の制約が大きいなどの問題を抱えていることが判明した．また，安全意識の高まりから，台風による欠航が多くなったこともわかった．これらのインタビュー結果から，奄美群島の港では，台風などの気象現象による欠航が多く，国や自治体からのサポートが不十分であると解釈できる．奄美群島

のように海上輸送に依存して生活を営んでいる離島の港湾の重要性を正しく認識することが必要である．

本研究ではまず離島の港湾整備プロジェクトの重要性を示すための分析手法として，国土交通省港湾局による現行の港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル [4]を確認した．マニュアルでは離島ターミナルの整備プロジェクトについて，便益発生構造の一つとして「船舶の就航率の向上をはかる防波堤の整備」を挙げている．就航率の向上に伴って待ち時間が減少することによる輸送コストの削減便益を求める構造となっており，本研究の対象である奄美群島の事例に適していると解釈できる．しかしこのマニュアルでは考慮しきれない点もある．まず，同一島内に他の港湾が存在する場合，他港を代替港とする輸送コストの削減を便益とする点である．奄美群島の場合，最も大きい港湾は重要港湾に指定されている名瀬港であり，インタビューの結果から欠航が少なくないことが分かっている．奄美群島内の他の港湾は名瀬港よりも規模が小さく，欠航の場合の代替港としての機能が果たせない可能性が高い．次に，輸送コストの算出方法である．このマニュアルでは待ち時間により発生するトンあたり輸送コストの差から便益を求めるが，貨物ごとの輸送コストを求めることが困難である．本研究でも試算を試みたが，粗い推計による概算値しか得られなかった．

本研究では現行のマニュアルとは異なる新たな便益評価手法を提案する．待ち時間により発生するトンあたり輸送コストの代わりに，旅行費用法の概念を援用して荷主の運賃支払増加分を便益と解釈して評価を行うこととした．さらに，インタビューで得られた連続欠航の問題については現行のマニュアルでは考慮されていないため，連続欠航減少の便益評価のための方法の提案も行う．奄美群島地域の海上輸送の現状を分析したのち，提案する手法により，防波堤建設による静穏度が向上することを想定し，欠航回数が減少することの便益の評価を行う．

2. 既存研究

(1) 離島の輸送や施設整備

柿沼ら（2014）[5]は各離島が有する特徴を明らかにし，離島の自立的な発展を促す手法の提案を目的としている．対象は沖縄振興法特別措置法及び奄美群島振興開発特別措置法に指定されている離島としており，8 島及び 39 島中，明確な数値が得られる 22 島に対して分析を行っている．分析手法は主成分分析とクラスター分析を使用している．主成分分析やクラスター分析は目で見て結果が分かりやすく，今後の本研究において時系列分析で明確な結果を残すことができるかが課題であると認識した．

五明（2013）[6]は航路や空路により提供される離島のネットワークに着目し，グラフ理論にもとづくネットワークの評価指標を用いて離島の社会環境の分析を行っている．奄美群島周辺の分析が行われており，対象地域内の港の規模などが理解できる．

笹ら（2006）[7]は瀬戸内海の離島と本州を結ぶフェリー運航を対象とし，潮流および船体条件ごとによる着桟の困難度を定量的に評価する手法を検討し，強潮流が卓越する海域での港湾計画のあり方について考察を行っている．操船技術によって対処を行っているケースは多く，今後も増えていくと思われる．高齢化等により操船困難な港湾が同時に何箇所も発生する前に早々に対策を実行することが重要であると考える．

平山（2016）[8]は沖縄本島の東約 360km の海洋上に位置する南北大東港に対して波浪推算及び波浪変形計算を行い各岸壁に対する確率沖波及び作用波を効率的に算定する手法を示し，妥当性を検証している．推算を用いて沿岸波の再現計算を行った場合，実際の観測記録より過小評価をする傾向があることが分かった．

米山ら（2017）[9]は沖縄本島の東約 360km の海洋上に位置する南北大東港の港湾を対象に，外洋波浪の影響を直接受ける係留施設における荷役係留時の船舶の荷役限界波高の算定方法を検討している．外洋波浪の影響を直接受ける場合は，現地の荷役係留状況を参考にして限界値を考慮すればより正確な分析ができると考察している．

久保ら（1994）[10]は外洋に面した離島航路に従事する船会社に対し離島港湾に関するアンケートを実施している．奄美群島では欠航日数は年 30 日程度であり他地域と比べて多いことが示されている．当時は波高 3m での欠航も想定している．当時から南西諸島地域では夏から秋にかけての台風の影響と冬の風・波の影響が大きい．

出水ら（2014）[11]は低潮線保全法の概要及び同法に基づき整備を進めていた南鳥島・沖ノ鳥島の特定離島港湾施設整備事業の実施状況を解説している．日本の広い排他的経済数域を活かす政策の推進の重要性を示している．2023 年現在では船舶大型化への対応も進んでいることから整備事業が活かされていることが分かる．

以上のように，奄美群島をはじめとした離島の生活水準改善に向けた既存研究は多い．しかし，離島の港湾や島内の経済状況・生活水準について述べた論文はあるもののそれぞれが独立しており，統計分析等の定量的な分析を行った研究は少ない．久保ら（1994）[10]はアンケート調査結果から港湾と離島の関係性を考察しているが，この研究は 30 年近く前のものであり，当時の港湾の状況や環境は現在と変化していることが予想される．本研究では最新のインタビュー調査とデータを用いて生活水準向上のために離島における海上輸送の重要性を考察するものである．

(2) 費用対効果分析

上部ら（1995）[12]は岸壁の地震被害額と液状化対策工費を比較検討し，液状化対策を実施するケースがより経済的であることを検証している．1993年におこった釧路沖地震の釧路港の岸壁を対象とし費用効果分析を行ったところ，対象とした七つの埠頭のうち5つの地震被害額が液状化対策工の費用を大幅に上回っており，液状化対策工の経済性がより顕著である事を証明した．

盛岡ら（1997）[13]は経済的技法を用いた自然環境資源に対する評価プロセスを設計した上で現実の自然海浜における評価を行っている．資源の社会価値の構造についての情報を得るとともに，環境改善事業の費用便益費を他の整備事業と比較するケーススタディを通じて，都市政策に反映する方向性を定めた．環境整備の社会的事業の一つである人工海浜整備が効果的であることを示した．

大矢ら（2016）[14]は日本経済の中心地である東京湾を対象として，近年増えた異常気象による沿岸災害の予測と，自治体ごとの被害額と対策費用について費用便益分析を行っている．治水経済調査マニュアルに従って被害額を調べた結果，東京湾において水害対策はハード対策を積極的に行うことが適切であるという結論に至った．高床化を行うために補助金制度を用いて行政の負担を軽減することも視野に入れる必要があるとも述べている．

離島を対象として費用便益分析を行うあるいは費用便益手法の問題点を指摘する研究はない．この点から本研究の希少性がうかがえる．港湾が生活の大半を支えている離島の状況には配慮が必要と考える．また，情報が少なく独自の分析手法が必要になるケースでも本研究は有用であると考える．

(3) 海上輸送と離島の地理的特性

Özcan（2014）[15]は，小さな島に必要不可欠なサービスの重要性を取り上げ，フライトサービスを改善することで一人当たりの所得を増加させられると主張している．

Aminuddin（2016）[16]らは，利害関係者の視点から，群島状の東南アジアの小地区における国家間の短海海運（SSS）事業に対する潜在的な利益と障害を明らかにしている．その結果によると，専門家は，SSS の接続によってもたらされる貿易と経済機構の強化が，その利益を通じて平和と安定をもたらし，その結果，関係国間の政治的結びつきが強化されると期待している．

Aminuddin（2018）[17]は，SSS プロジェクトの本質的な要素を絞り込み，焦点を絞る支援が必要であるとしている．デルファイ法と階層分析法の結果は Ro-Ro 船の円滑な導入には政府の支援が必要という結論を導いている．

Peter ら（2014）[18]は，オセアニアにおける持続可能な海上輸送について，商業銀行が低収益，高リスク，十分な担保の欠如を理由に島しょ海運に融資しないことから，海運に対する政策がまだ不十分であることを明らかにしている．再生可能エネルギーの推進など画期的な政策がないことに加え，海運業界に蔓延する保守的でリスク回避的な考え方も発展を妨げていることが推察される．

Searcy（2017）[19]は，ラウ諸島への貨物輸送で利用される航路のマテリアルフローマネジメント（MFM）フレームを開発し，オセアニアや他の地域の航路に拡張できるモデルを提示している．MFM 基本計画を実施することで，資本や技術能力の不足といった問題を克服することができるが，人口が少なく経済インフラが脆弱な小さな離島では，適応するための創意工夫が必要となる．

Amin ら（2021）[20]は，インドネシア東部の経済発展に対する海上物流の影響を，調査と確率的フロンティア分析を用いて分析している．彼らは，高い荷役関税と海上輸送コストが島の一人当たり GRP を低下させる可能性があることを見出している．さらに，貨物量の少なさと不十分な港湾施設が，小島における海上物流の非効率性の主な原因である．研究の範囲は北マルク州に限定されており，今後より広範な研究の必要性が指摘されている．

Rutz ら（1996）[21]は，インドネシア群島における島嶼間旅客輸送の発展を検証し，1981年以降の輸送システムの改善に焦点を当てている．1986 年からの 10 年間は，輸送網の進歩により著しい成長が見られた．それでもなお，ジャワ島のすべての港から最小限の迂回で毎週運航し，船舶数を改善し，国家統合政策を推進するためには，協調的な努力が必要であるとしている．

Lekakou ら（2011）[22]は，ギリシャの沿岸海運を調査し，沿岸市場の集中が進んでいるかどうか，また，沿岸企業の集中や監視プロセスの不在によって，島々のアクセス性が低下していないかどうかを明らかにした．彼らは，健全な競争を確保するためには監視が必要であり，荷主の地位向上には監視が不可欠であることを見出している．

Ng ら（2019）[23]は，アゾレス諸島の 9 つの島々の包括的な沿岸脆弱性指標を開発している．海からのリスク，生物物理学的特性，社会生態学的特性の 3 つの観点から海岸線の相対的脆弱性の変動を理解することで，開発プロセスにおける沿岸開発計画に応用することができる．彼らは，アゾレス諸島の軟食海岸線が離島の災害リスクを予測できることを発見した．

Chi ら（2022）[24]は，中国の苗島群島と東投群島の 26 の島を調査し，島嶼開発の適性に関する研究を実証している．苗島群島では，地形と土壌の要因が生態系の保全と都市建設に密接に関係しており，農業生産に関しては，海と大地の関係が明確である．東投群島では，土壌要因が生態系保全，農業生産，都市建設に影響を与えている．

海外の離島に関する既存研究は東南アジア付近が盛んであり，参考になるものが多い．アンケート調査による問題提起を行う研究が盛んな一方で，モデル分析等によ

る定量的な研究例は少ない．本研究は定量的な分析を試みる点が特徴となる．

(4) 離島の政策と経済効率

Anckar（1996）[25]は，島々の政治生活についての研究結果を述べている．彼は，地理的条件が行政・政治制度を決定することを示唆し，憲法には自国固有の地理的環境を考慮する必要があると述べている．

Pacheco ら（2022）[26]は，ポルトガル本土の最南端に位置するクラトラ島で，エネルギー転換のプロセスをさまざまな段階を経て実行している．彼らは公共インフラ用に太陽光発電所を設計し，送電網への依存度を 3 分の 1 に減らし，エネルギーの自給自足を支援している．この結果は，島が新技術の実験場として本土のパイオニアになる可能性が高いことを示している．

Ogden（1998）[27]は，離島が被る情報技術の格差を回避する必要性を説いている．20 年以上前の研究だが，離島由来の経済格差は縮まっていない．長期的な将来戦略の立てにくさはおなじみであり，情報格差は現在の世界ではより深刻である．

Baldacchino（2006）[28]は，島嶼政府の創造的な競争戦略と統治慣行の比較分析を行っている．この研究では，5 つの経済的能力と 4 つの政治的能力に関する先行研究を評価し，異なる環境を活用する管区において，創造的な開発を促進する動きが盛んであることを見出している．

Ridhwan（2021）[29]は，インドネシアにおける地域間の空間的賃金格差を説明する要因に注目し，集積が人的資本の外部性に影響を与えるかどうかを検証している．2006 年から 2015 年のインドネシア 440 地区の労働者個人調査データに基づき，賃金格差は個人特性によって説明され，次いで産業と地理的要因によって説明されることを実証している．

Spalding ら（2015）[30]は，パナマにおける海洋政策の変遷を評価・記録し，法を執行する制度における構造的なギャップと，それらの制度間の統合の欠如を比較するために，パール諸島とボカス・デ・トロ群島に関する 2 つの事例を提示している．海洋・沿岸財産制度が明確でないことはパナマ特有の問題として浮き彫りにされている．

これらの研究より離島は他の地域に比べて経済的格差があることが多いのは海外でも共通であることが分かる．奄美群島と異なる点は国と一地域の規模の差であるが，問題になる争点は共通しているものが多い．

3. 奄美群島の現況

奄美群島は，北緯 28 度 32 分 44 秒，北緯 27 度 01 分 07 秒，東経 130 度 02 分 07 秒，東経 128 度 23 分 43 秒の海域に飛石状に連なった島嶼群である [31]．奄美大島，加計呂麻島，宇計島，与論島，喜界島，徳之島，沖永良部島，与論島の 8 つの有人島で構成されている．鹿児島市から喜界島までは北東端で 377km，与論島までは最南端で 594km と，日本本土から特に離れた場所に位置している．総面積は 1,231.17 km2 である．奄美大島が群島最大の島で，総面積は 712.41 km2 であり，特別法が適用される日本の有人離島の中では，佐渡島に次いで 2 番目に大きな島である． 総人口は 1946 年の 226,752 人がピークであり，その後の大幅な人口流出を経て，2015 年の総人口は 110,147 人となった．1953 年にアメリカから日本に返還された時の市町村数は，1 市 5 町 14 村であった．その後，市町村合併などの変遷を経て，現在は 1 市 9 町 2 村で構成されている．

奄美群島がいかに港湾に依存しているかを確認するため，人口当たりの港湾取扱貨物量と製造品出荷額当たりの港湾取扱貨物量を算出し他地域との比較を行った．人口のデータは鹿児島県ウェブサイト掲載の最新のデータを用いた [32]．各港湾の移出量，移入量は国土交通省港湾統計年報を用いている [33]．計算式は次の式（1）である．

$$V_c = \frac{V_o \, or \, V_i}{T_p} \qquad (1)$$

V_o：移出量（t）
V_i：移入量（t）
T_p：人口（人）
V_c：人口一人当たりの港湾取扱貨物量（トン/人）

分析対象の単位を表-1 に示す．瀬戸内町は奄美大島，加計呂麻島，宇気島，与路島の 4 つの島にまたがっているが，人口のデータは瀬戸内町全体のデータしか提供されていなかった．そこで，2015 に総務省で行われた国勢調査 [34]の一環である「人口など基本集計結果」に記されているデータや美群島をはじめとする島々の現況を記録した書籍である SHIMADAS[35]を参考にして瀬戸内町の人口を 2015 年当時の割合で分配することによって分析を行った．その詳細は以下の通りである

奄美大島：人口 7,614 人，瀬戸内町全人口の約 84%．
加計呂麻島：人口 1,262 人，瀬戸内町全人口の約 14%．
請島：人口 82 人，瀬戸内町全人口の約 1%．
与論島：人口 84 人，瀬戸内町全人口の約 1%．

2020 年のデータを用いて，奄美群島の状況を，沖縄県，東京都，日本全国平均と比較した．結果を表-2 に示す．これらの結果から，奄美群島に属するほとんどの島で，全国平均よりも海上輸送への依存度が高いことが確認できる．特に加計呂麻島と宇計島は依存度が高く，一人当たり 100 トンを超えている．同じような状況にある沖縄県と比べて，ほとんどの島で海上輸送への依存度が高いのは，空港の数の違いが関係していると解釈できる．沖

縄県には 12 の空港があるのに対し，奄美群島には 5 つの空港しか存在しない．空港が多いことで航空輸送による貨物の取り扱いが容易になり，輸送手段が分散していると推察できる．

海上輸送への依存度を経済面から考察するため，製造品出荷額あたりの港湾取扱貨物量を算出した．計算式は式（2）であり，先の人口当たりの例と同様である．

$$C_t = \frac{V_o or V_i}{S_h} \qquad (2)$$

V_o：移出量（t）
V_i：移入量（t）
S_h：製造品出荷額（円）
C_t：製造品出荷額当たりの港湾取扱貨物量（トン/円）

製造品出荷額は経済センサスの一環である工業統計調査 [36]を用いた．製造品出荷額とは，1 年間における製造品出荷額，加工賃収入額，その他収入額及び製造工程からでた屑及び廃物の出荷額の合計をまとめたものであり，移出・移入される製品の合計金額のデータとして信頼できるものである．最新のデータである 2019 年のものを使用している．先ほどの分析と異なり，瀬戸内町の金額を分ける方法がないので，奄美大島，加計呂麻島，宇計島，与路島の 4 島をまとめて分析している．これらの分析結果が表-3 である．奄美群島に属する島のほとんどにおいて，他地域よりも海上輸送への依存度が高いことが確認できた．

4. 静穏度改善の費用対効果分析手法

現行の費用対効果分析マニュアル [4]は，港湾整備事業における新規事業採択時評価および再評価における総合的評価のうち，費用対効果分析を対象とするものである．物流ターミナルや旅客対応ターミナルをはじめとした各整備プロジェクトに対応しており，離島ターミナル整備プロジェクトにも対応している．有人離島において貨物，旅客を扱うターミナルを整備するプロジェクトに対応しており，離島ターミナルの整備を，①既存ターミナルの増深，②船舶の就航率の向上をはかる防波堤の整備，③新規港湾の整備に区分している．本研究と関連が深いのは②の防波堤の整備である．就航率向上によるターミナルと本土等の相手港との間の待ち時間の減少によって発生する輸送コストの差を便益として算出するが，この手法には代替港の削減便益を中心に考えている点，待ちによる輸送コストを求めることが一部の地域で困難である点が問題である．

本研究では荷主の運賃支払増加分を便益とすることを提案する．この手法は，目的地までの費用と訪問回数か

表-1 分析対象の島・市町村

島	市町村
奄美大島	奄美市 大和村 宇検村 瀬戸内町 竜郷町
加計呂麻島	瀬戸内町
請島	瀬戸内町
与路島	瀬戸内町
喜界島	喜界町
徳之島	徳之島町 伊仙町 天城町
沖永良部島	和泊町 知名町
与論島	与論町

表-2 人口一人当たりの港湾取扱貨物量(2000 年)

	移出量	移入量
奄美大島	11.57	12.22
加計呂麻島	119.24	113.15
請島	253.53	123.29
与論島	184.62	78.21
喜界島	3.70	8.01
徳之島	4.97	14.68
沖永良部島	9.57	16.96
与論島	7.54	16.36
東京都	1.03	1.47
沖縄県	6.19	9.51
日本全国	5.50	5.47

（単位：トン/人）

表-3 製造品出荷額当たりの港湾取扱貨物量(2019 年)

	移出量	移入量
奄美大島 加計呂麻島 請島 与論島	7.3	8.2
喜界島	0.9	2.4
徳之島	2.1	6.1
沖永良部島	6.8	14.0
与論島	3.2	6.8
東京都	0.2	0.3
沖縄県	2.0	3.0
日本全国	0.2	0.2

（単位：トン/千円）

ら便益を求める旅行費用法の概念を援用している．対象はマリックスライン株式会社とマルエーフェリー株式会社が鹿児島・奄美間で運行している 4 隻のフェリーである．フェリーの運賃は公開されている [37][38]．各フェリーの名称とトラック積載台数は表-4 のとおりである．クイーンコーラルプラス，クイーンコーラルクロスに積載されているトラックのトン数は記載されていないが，大型トラックの規格サイズから 10 トントラックと見なす [39][40]．年間の総輸送費は式（3）から算出した．

$$Ty = T \cdot P \cdot 365 \cdot Ns \cdot Nt \qquad (3)$$

Ty：一年間の総輸送費（円）
T：トラック一台当たりの輸送費（円）
P：サービスレート
Ns：サービス提供日数（日）
Nt：トラック（車両）台数

本研究ではトラックを最大積載した場合を想定している．便数は日本離島センター発行の離島統計年報 [41]から引用し，Ns は 0.25 を代入している．なお，フェリーが積載しているトラックの台数がそれぞれ異なるため，総コスト値は必ずしも P と T に対して線形にならない．

5. データ

奄美群島の人口については，鹿児島県による県人口移動調査（推計人口）[33]を用いた．当調査は奄美群島が属している鹿児島県における人口の推移を年齢別にまとめたものである．海上出入貨物についてのデータは，国土交通省の港湾調査の港湾統計年報 [32]を用いた．港湾調査は日本国内唯一の機関統計調査であり入港船舶，海上出入貨物，コンテナ個数等のデータを公表している．経済活動のデータは経済産業省が行っている経済センサス [36]の一環である工業統計調査と商業統計調査を用いた．

欠航率を推計するために必要な波高のデータは，NOWPHAS（Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HArbourS）[42]を用いた．これは，国土交通省港湾局・各地方整備局・北海道開発局・沖縄総合事務局・国土技術政策総合研究所および港湾空港技術研究所の相互協力のもとに構築・運営されている我が国沿岸の波浪情報網である．

フェリーの就航回数や積載量のデータは船舶明細書 2022[43]と離島統計年報 2020[41] ,海上定期便ガイド [44]から引用した．船舶明細書は 2021 年 6 月 30 日現在，20 総トン以上の日本籍稼働船舶をまとめたものである．離島統計年報は離島振興法などに基づく指定離島のうち平成 31 年 4 月 1 日現在の住民基本台帳で住民登録がなされている 302 島を掲載したものであり，今回の分析対象である奄美群島のデータも掲載されている．2020 年版が最新であったため今回はそちらを使用しているが，後のヒアリングの結果も含めて大きな変化はないと思われる．海上定期便ガイドはフェリーを含む多様な種類の全国の船舶の定期便を詳細にまとめたものである．こちらは 2021 年版を使用している．

また 2022 年 11 月 24 日から 26 日にかけて奄美大島と徳之島においてインタビュー調査を実施した．訪問先はマルエーフェリー株式会社，名瀬港運協会，奄美市役所，伊仙町役場，徳之島町，共同通運株式会社である．

表-4 対象となるフェリー名とトラックの積載量

フェリー名	積載トラックの詳細
クイーンコーラルプラス	12m トラック 26 台
クイーンコーラルクロス	12m トラック 30 台
HANOUE	8t トラック 48 台
あけぼの	8t トラック 50 台

6. 奄美群島における費用対効果分析の適用

船舶の欠航により生じる損失を明確にする．インタビュー調査の結果，風速 15m/s，波高 4m のときに船舶が欠航し，その回数は年間約 30 回であることがわかった．波高のデータが名瀬港しかないことから，名瀬港のある奄美市の気象庁のデータ [45]から，年間風速が 15m/s を超える日数を確認した．

波高データの最新年にあわせて 2020 年の気象データを確認したところ，風速 15m を超えたのは数日である．このことを踏まえ欠航は主に波高を理由とするものと判断した．そこで，1 日 2 時間ごと，つまり 1 日 12 回の波高データを用いて，波高が 4m を超える回数と日数を確認した．1 日に 1 回でも 4m を超えた場合は，超えた日とみなした．データは 1978 年から 2020 年のうち，測定不能なデータの数が一年の合計である 4380~4392 回中 1000 回を超えた年を除いた 37 年間を使用した．波は 1/10 波の波高を対象とした．その結果を表-5 に示す．

波の高さは平均して年間 150 回は 4m を超えることがあり，32 日間の船舶欠航が発生することが判明した．この結果は，ヒアリングで聞いた情報と概ね一致しており，信頼性の高いデータといえる．また，2 日連続で超えることが 8 回，3 日連続で超えることが 2 回，4 日連続で超えることが 1 回あることがわかった．つまり，波高が 4 日連続で 4m を超えることは年に 1 回程度起こりう

ることであり，4 日分の備蓄が必要であることを示唆している．

また，欠航日数は，8-9 月と 12-2 月で多くなっていることがわかった．8-9 月は前述の通り，台風の影響によるものである．12 月-2 月は，奄美群島が亜熱帯気候であることから，冬は偏西風帯に属するため，降水量が増えるためであると解釈できる．このような時期に航海が増えると，港に保管される物資の数が減る可能性がある．

経年変化を把握するために，対象期間を 20 年ごとに分けて平均化し，波高の変化を明らかにした．その結果は表-6 に示す．2000 年頃にデータに変化があった可能性が示唆されている．そこで，この 37 年間のデータが正規分布に従うと仮定した上で母平均の差の検定を行った．母平均の差の検定とは，同じ標本から得られた平均値を基に母集団において平均値に差があるか否かを検定するものである．その結果，母平均が異なっていることが判明した．その結果を表-7 に示す．

2001 年～2020 年の平均超過回数と超過日数はそれぞれ 166 回と 35 日で，1981 年～2000 年の平均はそれぞれ 137 回と 31 日であり，29 回と 4 日の差があることがわかった．この結果は年を追うごとに波が強くなっている可能性を示唆している．気象庁（2022）[46]によると，日本沿岸の海面は 1980 年代から上昇傾向にあり，2006 年から 2018 年にかけては年間 2.9mm ずつ海面が上昇しているという．今後も波の力が強まれば，船舶の欠航件数も増加する可能性が高い．そのため，現状維持では海上輸送が継続できなくなり，日常生活に支障をきたすような危機的状況が発生する可能性がありる．船舶の欠航日数を減らすために考えられるのは，従来の防波堤よりも高い波に耐えられる防波堤の建設である．そこで，5m 以下の波は許容範囲と仮定し，1/10 の波高が 5m を超える回数を同様に調査した．なお，波高以外の条件はすべて従来と同じである．比較した結果は表-8 のとおりである．年間平均 47 回，高さが 5m を超え，1 年のうち 13 日は船が欠航していることがわかった．また，5m を超える波高が 2 日連続で発生したことが 3 回，3 日連続で発生したことが 1 回あることがわかった．表-7 から，4m と 5m を超える回数と日数に大きな差があることがわかる．

この結果を踏まえて，対象のフェリー4 隻を対象として，式（3）を用いて一年間の総輸送費を求める．P は表-8 の日数から現状は 333/365，防波堤 を建設する代替案の場合 352/365 である．T の値は運賃表から 12m トラックが 158,000 円であり，8t トラックが 124,000 円であることが分かっている．総輸送費の比較を表-9 に示す．

便益はフェリーごとに計算され，1 隻あたり約 2,000 万円から 3,000 万円であった．4 隻合計で 99,628,970 円の便益となった．フェリーは総重量トン数よりも積載量が少ない船であり，仮に貨物船やタンカーを含めた分析を行

表-5　名瀬港における波高 4m 超の回数と日数

年	回数	日数	船舶の連続欠航日数						
			2	3	4	5	6	7	8
2020	175	32	9	2	1	0	0	0	0
2019	86	24	7	0	0	0	0	0	0
2015	131	33	10	1	0	0	0	0	0
2014	230	42	11	3	0	0	0	0	0
2013	164	32	6	3	0	0	0	0	0
2012	175	44	14	2	0	0	0	0	0
2011	165	36	4	3	1	1	0	0	0
2010	136	33	2	4	1	1	0	0	0
2009	162	33	10	0	0	0	0	1	0
2008	162	34	11	1	0	0	0	0	0
2007	100	25	3	4	0	0	0	0	0
2006	145	29	9	2	0	0	0	0	0
2005	246	40	3	5	2	0	0	1	0
2004	198	44	13	2	0	0	0	0	0
2003	201	39	7	2	2	0	0	0	0
2002	158	33	6	4	1	0	0	0	0
2001	181	37	10	2	1	0	0	0	0
2000	117	24	3	2	1	0	0	0	0
1999	151	34	9	3	1	0	0	0	0
1998	88	25	7	1	0	0	0	0	0
1997	126	27	8	1	1	0	0	0	0
1996	140	32	7	2	1	0	0	0	0
1995	151	33	11	1	0	0	0	0	0
1994	143	33	9	0	1	0	0	0	0
1993	154	36	6	4	0	0	0	0	0
1992	89	20	7	0	0	0	0	0	0
1991	154	31	6	0	2	0	0	0	0
1989	139	33	10	0	1	0	0	0	0
1988	161	32	9	0	0	0	1	0	0
1987	178	36	7	2	2	0	0	0	0
1984	118	30	8	2	0	0	0	0	0
1983	150	34	9	1	1	0	0	0	0
1982	118	25	7	0	1	0	0	0	0
1981	154	35	8	4	0	0	0	0	0
1980	153	32	5	1	0	0	0	0	1
1979	121	28	6	3	0	0	0	0	0
1978	146	30	7	2	1	0	0	0	0
平均	150	32	8	2	1	0	0	0	0

表-6　名瀬港における波高 4m 超の回数と日数（年代別）

年	回数	日数	船舶の連続欠航日数						
			2	3	4	5	6	7	8
2001~2020	166	35	8	2	1	0	0	0	0
1981~2000	137	31	8	1	1	0	0	0	0

表-7　母平均の差の検定の結果

	差	T 値	P 値
超えた回数	28.038	2.620	0.013
超えた日数	4.206	2.500	0.017

った場合，さらに多くの便益が算出される可能性がある．

その恩恵は年を追うごとに大きくなっていくと思われる．コンテナ貨物量の増加や原油価格の高騰により，船舶はますます大型化し，積載量も増加している．また，トラックの大型化により，船舶 1 隻あたりの輸送コストが増加することも予想される．実際，今回の分析対象である「クイーンコーラルクロス」は，2021 年 11 月に「クイーンコーラル 8」と交代し，総重量が 2,000 トン以上増加している[47]．また，積み込みに使用するトラックも 8 トントラックから 10 トントラックに変わり，大量輸送の時代へとシフトしていることがうかがえる．

今回の分析においては船舶の大型化によりキャンセルの基準となる波高や風速に変化はないものとする．奄美群島の海運業を牽引している企業の一つであるマルエーフェリー株式会社にヒアリングをおこなったところ，安全意識の高まりにより以前より欠航を増やしていることが分かった．庄司（2018）[48]でも，船舶は巨大かつ運動性能が鈍いことから扱いが難しいと述べており長期的に精度が高い気象・海象情報が必要不可欠であると述べている．つまり，船舶の大型化による性能向上の影響は気象・海象による影響よりも小さいと解釈できる．

ここで得られた便益は，費用便益分析に利用することができる．プロジェクト実施による純便益の大きさを，便益と費用の差額を評価することで算出する．この方法を純現在価値法（NPV）という．この方法で得られた NPV がプラスであれば，そのプロジェクトは社会経済的な観点から効率的であると評価することができる．計算式は式（4）の通りである．

$$\mathrm{NPV} = \sum_{i=1}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \qquad (4)$$

B_t：t年間の便益（円）
C_t：t年間のコスト（円）
i：社会的割引率
T：プロジェクト期間（年）
NPV：純現在価値

NPV は長期的な分析手法の一つである．防波堤のプロジェクト期間は 50 年だが，便益が費用を上回るまでの期間を算出することもできる．今回は防波堤の建設費用の推計ができなかったため，便益の算定に止まり，費用便益分析は行えなかった．これは今後の課題である．

7. 連続欠航リスクに関する検討

前章で防波堤建設がフェリー四隻にもたらす便益が年間約一億円であるという結果を得た．この結果から防波堤建設によって生じる便益は費用に見合うものではない可能性が高い．国土交通省（2020）[49]によると，防波堤の耐用年数は 30~50 年であり，社会的割引率が 4%であることを考慮した場合，防波堤建設にかかる費用が約 18～22 億円の間であれば純現在価値が正となる．これは，

表-8 超過回数と日数における平均値の比較

	回数	日数	船舶の連続欠航日数						
			2	3	4	5	6	7	8
4.0m	150	32	8	2	1	0	0	0	0
5.0m	47	13	3	1	0	0	0	0	0
差分	103	19	5	1	1	0	0	0	0

表-9 総輸送費の比較

フェリー名	現状	代替案	便益
クイーンコーラルプラス	341,991	361,504	+19,513
クイーンコーラルクロス	394,605	417,120	+22,515
HANOUE	494,465	522,678	+28,213
あけぼの	515,068	544,456	+29,388

（単位：千円）

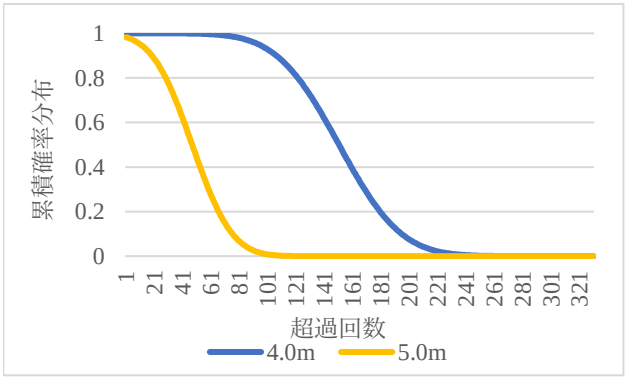


図-1 超過回数の累積分布関数

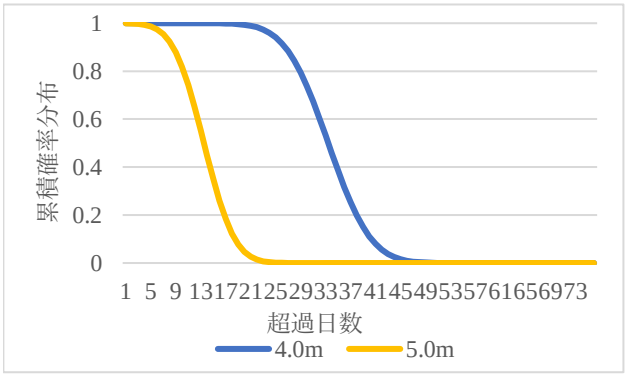


図-2 超過日数の累積分布関数

一年で一億円の便益では約 22 億円相当しか賄うことができないことを意味する．そのため，他の視点から防波堤建設における意義を見出す必要がある．その視点の一つが連続欠航減少によって生じる便益の可能性である．

前章で波高 4m で欠航している現状を改善し，波高 5m までの欠航が可能になれば，従来よりも 19 日多く航行することが可能になり，4 日連続の欠航はほぼなくなるという結果を得た．波高が正規分布に従うと仮定し，累積分布関数を算出した．それらを図-1，図-2 に示す．超過回数は，現状では 200 回を超えることも起こりうるが，5m以下の波を許容する場合100回を超えることはまずない．同様に日数では，現状は 40 日を超えることも起こりえるが，代替案の場合 20 日を超えることはまずないことがわかる．これより船の欠航日数を約 50%削減できることになる．現地のインタビューでも 4~5 日の連続した欠航による損失が課題となっており，防波堤建設の意義を示すことに対して重要な議題の一つとなる可能性が高い．

以上の検討から，本研究のさらなる発展の方向として本研究では時系列分析とシミュレーションを組み合わせた分析の必要性が考えられる．時系列分析は時間の経過順に並んだデータをもとに，変動要因を統計的な手法を用いて分解し，将来の値を予測する分析のことである[50]．現在取り扱っている波高のデータは時間の経過順に並んだデータであり，長期的な傾向を表現できる時系列分析手法は適切であると考える．時系列分析の中でも，過程が自身の過去に回帰された状態で表現される AR 過程で波高が表現できると考える．これは式（5）で表現される．

$$y_t = \emptyset_0 + \emptyset_1 y_{t-1} \ldots + \emptyset_j y_{t-j} + \varepsilon_t \qquad (5)$$

時点tにおけるデータy_tが定数項$\emptyset_0$, 一時点前のデータy_{t-1}, 誤差項ε_tによって表されている. このAR過程を用いてシミュレーションに必要なデータを収集し，シミュレーションによる分析へとつなげていきたい．

8. 結論

本研究では， 奄美群島地域の海上輸送を分析し，名瀬港の欠航率改善の実行可能性について，費用対効果の観点から考察を行った．その結果，奄美群島のフェリーの就航率を向上させることで，合計で約 1 億円の経済的地位の向上が見込めることがわかった．

したがって，名瀬港の安全性を維持することは，奄美の交通を安定させるために重要であり，防波堤の新設は有効であると考えることができる．ただし，本研究は奄美群島の限られた情報に基づくものであり，他の事例との比較を通じて，本研究結果の信頼性を向上させる必要がある．今後は，奄美群島だけでなく，他の地域でも同様の分析を行う必要がある．

また，本分析ではフェリー以外の船舶で分析を行っていない点と，防波堤の建設・管理・再投資にかかるコストが不明確であるため，分析は行っていない点が不十分であるといえる．そのため，今後はフェリー以外の船舶によるコストや便益の算出，防波堤の建設コストの算出などを行う必要がある．また，防波堤にかかるコストは高額になることが予想されており，今回算出した 1 億円相当の便益では十分でない可能性が高い．そのため，マニュアルにのっとった分析では建設が妥当ではないと解釈できる．一年間の便益を算出する以外にも，連続した欠航日数減少による便益を算出することで防波堤建設の意義を見出すことを今後の課題としたい．

参考文献

1) ICAO:Pacific Small Island Developing States Aviation Needs Analysis (PSIDS Study),2019
2) Hooper, P: Creating a New Aviation Future for Small Island Developing States， ICAO World Civil Aviation Report - Volume 4，pp82-90,2020
3) 国土交通省：日本の島嶼の構成,2022
4) 国土交通省港湾局：港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル,pp147-158,2017
5) 柿沼太郎,，岸良美香：多変量解析に基づく日本の離島の特色，土木学会論文集 B2，Vol.70,No.2,pp1396-1400,2014
6) 五明美智男：ネットワーク指標を用いた外洋離島の社会環境分析，土木学会論文集 B3，Vol.69,No.2,pp604-609,2013
7) 笹健児，日比野忠史，金キョンヘ，水井真治：瀬戸内海の離島での強潮流時の船舶運航から見た港湾計画のあり方, 海岸工学論文集,Vol.55,pp1356-1360,2006
8) 平山克也，相田康洋，川口浩二，藤木峻，峯村浩治, 森谷宅実：海洋中の離島港湾における確率沖波及び作用波の算定方法，土木学会論文集 B2，Vol.72,No.2,pp109-114,2016
9) 米山治男，峯村浩治，森谷宅実：離島港湾における係留船舶の荷役限界波高の算定方法に関する検討，土木学会論文集 B3，Vol.73,No.2,pp803-808,2017
10) 久保雅義，沖剛志，高岡俊輔：外洋に面した離島航路に及ぼす気象・海象条件の影響についてのアンケート調査報告，日本航海学会論文集，Vol.90,pp147-156,1994
11) 出水考征：特定離島「南鳥島」「沖ノ鳥島」の港湾
12) 上部達生，佐野透，野津厚：経済被害を考慮した港湾の液状化対策工の費用便益分析，地震工学研究発表会講演概要，Vol.23,pp687-690,1995
13) 盛岡通，藤田壮，丁賢，大竹一生：沿岸域複合的地域開発で失われる自然海浜のミティゲーションの費用便益に関する評価，環境システム研究，Vol.25,pp105-110,1997
14) 大矢淳，柴山知也，中村亮太，岩本匠夢：東京湾における沿岸域災害対策の費用便益分析，土木学会論

文集 B3,Vol.72,No.2,pp880-885,2016
15) Özcan, I.Ç. :Economic contribution of essential air service flights on small and remote communities, Journal of Air Transport Management Vol.34, pp24-29.,2014
16) Aminuddin, M.A, Hanafiah, R.M., Ooi, I.U.J. :A Delphi Study on the Potential Benefits and Obstacles of Interstate Short Sea Shipping in Archipelagic Southeast Asia: International Journal of e-Navigation and Maritime Economy, Vol.5,pp 97 -110,2016
17) Aminuddin, M.A. :Decision Making Model for Ro-Ro Short Sea Shipping Operations in Archipelagic Southeast Asia: The Asian Journal of Shipping and Logistics, Vol.34, No.1, pp33-42,2018
18) Alison, N., Biman, P., Elisabeth, H., Joeli, V., Peter,N. : A review of sustainable sea-transport for Oceania: Providing context for renewable energy shipping for the Pacific, Marine Policy,Vol.43, pp283-287,2014
19) Searcy, T. : Bridging islands and calming seas: A material flow management approach to sustainable sea transportation for Fiji's lower southern Lau islands: Marine Policy, Vol.83, pp221-229,2017
20) Amin, C., Anggraini, E., Kusumastanto, T., Mulyati, H. :Impact of maritime logistics on archipelagic economic development in eastern Indonesia: The Asian Journal of Shipping and Logistics, Vol.37, pp157–164,2021
21) Coull, J.R., Rutz, W.O.A. : Inter-island passenger shipping in Indonesia: development of the system: Journal of Transport Geography, Vol.44, pp275-286,1996
22) Lekakou, M.B., Vitsounis, T.K.:Market concentration in coastal shipping and limitations to island's accessibility: Research in Transportation Business & Management, Vol.2, pp74-82,2011
23) Borges, P., Calado, H., Medeiros, A., Ng, K., Phillips, M.R. :An integrated coastal vulnerability approach to small islands: The Azores case: Science of the Total Environment, Vol.690, pp1218-1227,2019
24) Chi, Y., Liu, D., Wang, C., Xing, W., Gao, J.: Island development suitability evaluation for supporting the spatial planning in archipelagic areas: Science of the Total Environment, Vol.829, pp1-23,2022
25) Anckar, D.: Noncontiguity and political architecture: the parliaments of small island states: Politkat Geography. ,Vol.15, No.8,pp 697-713,1996
26) Pacheco, A., Monteiro, J., Nunes, J, Santos, J., Sequeira, C. :Energy transition process and community engagement on geographic islands: The case of Culatra Island (Ria Formosa, Portugal): Renewable Energy, Vol.184, pp700-710,2022
27) Ogden, M.R. :Envisioning new - buying used: Are the Pacific Islands caught between alternative communication futures?, Futures, Vol.30, No.2/3, pp147–160,1998
28) Baldacchino, G.:Innovative Development Strategies from Non-Sovereign Island Jurisdictions? A Global Review of Economic Policy and Governance Practices: World Development, Vol.34, No.5, pp852–867,2006
29) Ridhwan, M.M.:Spatial wage differentials and agglomeration externalities: Evidence from Indonesian microdata: Economic Analysis and Policy,Vol.71, pp573–591, 2021
30) Mellado, M.E., Spalding, A.K., Suman, D.O., : Navigating the evolution of marine policy in Panama: Current policies and community responses in the Pearl Islands and Bocas del Toro Archipelagos of Panama Marine Policy,Vol.62, pp161-168,2015
31) 鹿児島県大島支庁：令和 3 年度奄美群島の概況,pp5-26,2022
32) 国土交通省：港湾調査港湾統計（年次報告書）,2020
33) 鹿児島県庁：鹿児島県公式ホームページ,2022
34) 総務省：平成 27 年度国税調査　人口等基本集計結果,2016
35) 荒木浩治：『日本列島案内 SHIMADAS』日本離島センター，pp1396-1486,2020
36) 総務省統計局：経済センサス-活動調査,2019
37) マリックスライン株式会社：自動車船運賃表 ,2022
38) マルエーフェリー株式会社：自動車航送運賃表,2022
39) トラック流通センター： 2 トントラック平ボディとは？新車・中古車価格やレンタル価格，サイズ，特徴などを紹介！,2021
40) ステアリンク：8t トラックの中古車価格は？車体サイズや必要な免許などを解説！,2021
41) 公益財団法人日本離島センター：離島統計年報 CD-ROM 版,2020
42) 国土交通省港湾局：リアルタイムナウファス　全国港湾海洋波浪情報網,2021
43) 一般社会法人日本海運集会所：船舶明細書,2022
44) 海上定期便の会/内航ジャーナル(株)主宰：2021 年版海上定期便ガイド,pp27-44,2021
45) 国交省：気象庁,2022
46) 国土交通省：日本沿岸の海面水位の長期変化傾向,2022
47) WEB CRUISE：マリックスライン，新造船「クイーンコーラルクロス」就航,2021
48) 庄司るり：船舶運航における気象・海象予測の利用,KANRIN 日本船舶海洋工学会誌,Vol.77,pp1-5,2018
49) 国土交通省：海岸保全施設の現状などについて,pp1-7,2020
50) 沖本竜義：経済・ファイナンスデータの計量時系列分析，pp.26-33，朝倉書店，2010

EVALUATION OF TRANQUILITY IMPROVEMENT ON LINER FERRY SERVICE -CASE STUDY ON THE AMAMI ISLANDS IN JAPAN-

Etsuki KAKIMOTO, Kazuhiko ISHIGURO and Mikio TAKEBAYASHI