ネットワーク指標を用いた外洋離島の 社会環境分析

五明 美智男¹

¹フェロー 千葉工業大学教授 工学部生命環境科学科 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼二丁目17-1)
E-mail:michio.gomyo@it-chiba.ac.jp

我が国は、北海道、本州、四国、九州、沖縄本島のほか、海上に展開する6800を超える離島で構成されている。外洋海域に数多く存在する離島は国土権益の維持、海洋環境の保全、水産・海洋資源開発の拠点として大変重要である。本研究では、航路により提供される離島、特に有人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試みた。分析対象とした鹿児島県、長崎県、沖縄県および東京都の海域について、提案した3つの要素によって各海域の諸島群を構成する各島の特徴、ネットワークの中での主島、属島、孤島などの特性、排他的経済水域の根拠となる低潮線基点とネットワークとの関係が明らかとなった。こうした指標は、様々な社会的要因によっても変動することから、外洋離島のみならず内海離島のネットワークおよび環境の変化や歴史的変遷を分析する上でも有効なものと考えられる。

Key Words : remote islands, network, network index, graph theory

1. はじめに

我が国は、北海道、本州、四国、九州、沖縄本島のほか、海上に展開する6800を超える離島で構成されている。外洋海域に数多く存在する離島は国土権益の維持、海洋環境の保全、水産・海洋資源開発の拠点として大変重要であり、特に低潮線の基点を有する離島においては管理に資する実効的な活動（居住、経済活動、調査研究など）の継続、展開が不可欠である^{1), 2)}。

こうした活動の基本は離島での人流・物流であり、それらは離島への航路・空路や離島周辺の漁場の存在などに依存するものである。そのため、離島振興の歴史を振り返るまでもなく、港・空港の有無、それらを結ぶ交通の有無と充足度が今後も大きな社会環境要因となることは言うまでもない。地域の経済や社会情勢の変化によって航路や空路の廃止・休止・変更、漁場の変更などが少なからず生じている現状をふまれば、離島の社会環境をネットワークの視点で分析し、離島の利活用や政策に反映していくことが緊要な課題と考えられる。

こうした背景から、本研究では、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試みる。

2. グラフ理論の離島への適用

グラフの基本要素として頂点の集合、枝の集合、またグラフのネットワーク特性を示す3つの基本量として次数、平均頂点間距離、クラスター係数がある³⁾。ここでは、グラフと離島とのアナロジーに着目し、グラフの要素と基本的な特性量を用いた離島のネットワーク分析指標を検討する。

(1) 港（頂点）と航路（枝）

ある海域の本島、離島群の航路によるつながりを1つのグラフ G としてとらえた場合、基本要素である頂点、枝は、それぞれ港および港間の航路に相当する（図-1）。このとき、離島、港および港間を直結する航路の集合 R 、 P 、 C はそれぞれ次式のように表される。

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\} \quad (1)$$

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\} \quad (2)$$

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\} \quad (3)$$

ここに、 l : 海域の離島数、 m : 離島に存在する港の総数、 n : 港間を直結する航路総数である。なお、港間の直結とは、2つの港が他港への経由なしに1つの航路でつながる状況として定義され、複数の離島港を経由し提供されるフェリー路線などは航路のつながったものとして扱うこととする。

図-1 ネットワーク指標の模式図

(2) 就航航路数(次数)

次数は、港 p_i に就航する航路数 k_i に相当する。1つの航路は2つの港から構成されることから、海域の航路総数 n と就航航路数 k_i との間には次式が成立する。

$$\sum_i k_i = 2n \quad (4)$$

(3) 平均港間航路数(平均頂点間距離)とクラスター係数

グラフ理論における頂点間距離は、直結するしないにかかわらず任意の2つの頂点をつなぐ最小の枝数として定義される。離島の場合、2つの港は単数あるいは複数の航路で結ばれており、その数が港間航路数となる。 m 個の港から2つの港の選び方は $m(m-1)/2$ 通りであることから、平均港間航路数 S は次式で与えられる。

$$S = (2\text{港間最小航路数の総和}) / \{m(m-1)/2\} \quad (5)$$

また、港 p_i と直結する m_i 個の港のうち、港 p_i 以外と直結している割合がクラスター係数 C_i であり、次式で与えられる。

$$C_i = (\text{港} p_i \text{ 以外との直結航路数}) / \{m_i(m_i-1)/2\} \quad (6)$$

(4) 航行頻度

一般に、グラフ理論において頂点間に2本以上の枝を考えることはないが、離島間の交通の充足度を考える場合には枝の太さを考慮する必要がある。そこで、本研究では、航路の太さを示す航行頻度 b_i を新たに定義することとする。このとき、各港の航行頻度の集合 B は次式で表される。

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\} \quad (7)$$

3. 離島のネットワークデータ収集と分析の視点

本研究では、海域の離島基本特性として(l, m, n)、各港 p_i のネットワーク特性としてグラフ理論から導出される指標(k_i, b_i)を基礎データとして分析を行うこととする。

なお、空路については、2.の港を空港、航路を空路と読み換えることで、同様の指標での議論が可能である。

(1) データの収集

対象海域ならびに離島として、鹿児島県、長崎県、沖縄県および東京都の伊豆・小笠原諸島をとりあげ、市町村、観光協会、船運会社のホームページの地図、運行ダイヤなどを参照し、ネットワーク指標算出のためのデータを収集した。就航頻度について不定期あるいは季節稼働が顕著な場合には、年間の就航総数を算定した上で1日あたりの到着便数を算出して数値化した。

(2) 調査対象海域の特性

今回調査対象とした4つの海域は、離島群の中でも特徴的な場所として選定されている。2010年の離島統計年報⁴⁾によれば、東京都を除く3県は、有人離島数、人口、面積、観光客数、年間宿泊客数等で、いずれも上位4位までに入る離島県である。一方、東京都離島海域でのこれらの数値は小さいものの、排他的経済水域の約1/3を占める重要な水域であることから分析の対象とした。

表-1は、これらの4海域において分析対象とした有人離島数、離島の港総数、就航航路総数、航行頻度計を示したものである。これより、1離島あたりの港数、1港あたりの就航航路数、1港1日あたりの航行頻度は、それぞれ1.1~1.5港、1.6~3.0本、2.6~9.7便となる。特に、南北に長い海域を有し本土からの航路が多く存在する鹿児島県、東京都では、1航路1日あたり平均航行頻度が1前後であるのに対し、離島が面的に散在する長崎県、沖縄県海域では3~6となっている。

表-1 対象海域のネットワーク指標の比較

	鹿児島県 (28)	長崎県 (54)	沖縄県 (40)	東京都 (13)
調査有人離島数	26	36	30	11
離島の港総数	36	55	34	12
就航航路総数	88	104	56	36
航行頻度計(便/日)	92	348	331	33
平均航行頻度 (便/日・航路)	1.0	3.3	5.9	0.9

* () 内数値は文献²⁾による有人離島数

(3) ネットワーク指標のレーダーグラフ化

各海域における離島のネットワーク上の特性を示すために、ネットワークの3つの要素(頂点数、枝数、太さ)、すなわち(港数 m 、港の就航航路数 k 、航路の航行頻度 b)によるレーダーグラフの作成と比較を試みた。それぞれの要素は、表-2に示す各海域で算定された1離島あたりの最大値で正規化し分析に供した。

表-2 各海域における3要素の最大値

	鹿児島県	長崎県	沖縄県	東京都
港数	3	7	2	1
就航航路数	15	14	8	10
航行頻度(便/日)	150	428	778	72

4. 各海域の離島のネットワーク特性

(1) 港数

離島は周囲を海に囲まれていることに大きな特徴があり、就航するフェリー、高速船等の稼働率は、風向きと港の位置に依存する。そのため、浅野が鹿児島県の事例として指摘しているように²⁾、拠点としては2つの港をもつことが理想的ではあるものの、急深な地形のために港湾整備に多額の費用を必要としていることが大きな課題となっているのが現状である。

図-2は、各海域の対象離島に存在する港数の分布を示したものである。2港の整備率が高い鹿児島県でもその割合は30%を超える程度であり、多くの離島が1港を有するのみとなっている。その一方で、周囲を島に囲まれ内海離島的な性質を持つ長崎県中通島のように、7つの港をもつ離島も存在している。

図-2 4海域の離島の港数

(2) 就航航路数

図-3は、各離島の就航航路数の分布を示したものである。ただし、離島外部とのネットワークの視点から、同一島内の航路については除外している。

就航航路数が1～3本の孤島的な性質を示す離島が多くを占めるが、観光、生活等の交通ネットワークの発展などから4～15本まで幅広く分布しているのが特徴的である。各海域の離島の最大値は、県内で最大の島となり居住人口も多い鹿児島県奄美大島の15本、離島群の中で周囲を島に囲まれ本土とのアクセスもある長崎県五島列島中通島の14本、先島諸島の観光の中心地となる沖縄県石垣島の8本、そして関東地方の各地からアクセスできる伊豆諸島の東京都大島の10本である。

図-3 4海域の離島の就航航路数

(3) 航行頻度

上述した港、就航航路に対し、定期、不定期あるいは海上の航行性、観光シーズンに応じた時期別で多くの旅客船、自動車船、貨物船が運航してる。

図-4は、各離島の航行頻度の分布を示したものであり、不定期便をゼロ、航行頻度の高いものについては30本以上としている。いくつかの諸島群が南北に分布するため0～2便と就航数の少ない鹿児島県海域をはじめ、1日10本以下の離島が多く存在する。その一方で、10便以上を数える地域のハブ(主島)的な性質を示す

図-4 4海域の離島の航行頻度

(4) ネットワーク指標のレーダーグラフ

図-5 から図-8 は、各海域の離島のネットワーク指標のレーダーグラフを示したものである。総計 103 のグラフ表示となることから、4 海域毎に諸島群などの地域的なまとまりで図化している。

鹿児島県海域においては、八代海域で周辺離島との航行頻度の大きい獅子島、鹿児島本土からも近く航路数も多く航行頻度も大きい種子島、屋久島、小さなネットワークでつながる宝島から口之島までのトカラ列島、県の海域全体で主島の役割をはたす奄美大島などが特徴的

ある。

長崎県海域においては、各諸島域で主島の役割を果たす中通島、福江島、壱岐島、就航数あるいは航行頻度で特徴的な特性を示す伊王島・沖之島、小値賀島などが目立っている。また、他の3海域に比べ、海域内で3要素の値が非常に小さい島が多くなっている。

次に沖縄県海域においては、航路数・航行頻度とともに大きな値を示した主島としての石垣島の存在により、海域全体としては相対的に航行数・航行頻度が小さい凸型のグラフ形状になっていることが特徴的である。

図-5 鹿児島県海域の離島ネットワーク指標

図-6 長崎県海域の離島ネットワーク指標

図-7 沖縄県海域の離島ネットワーク指標

図-8 東京都伊豆・小笠原海域の離島ネットワーク指標

最後に、離島数が少なく南北に長い東京都の伊豆諸島・小笠原海域では、主島としての大島、要素値は小さくなるものの遠隔離島の海域で中心となる八丈島、父島が目立っている。また、荒天時にも利用できる2つの港があるのは、黒潮の強い流れの影響を受ける八丈島のみとなっている。

(5) ネットワーク指標と排他的経済水域の基点

ネットワークの3要素については、地図化することによりネットワークの強さを面的にかつ容易に確認することが可能である。図-9、図-10は、その一例として、鹿児島県海域、長崎県海域の離島の航行頻度の分布を示したものである。鹿児島県では4つの主島の位置と周辺のネットワークの強さの違いが明確である。長崎県では航行頻度の大きい島が多数存在し、海域の各所でネットワークが大きいことがわかる。

また、こうした地図の1つの利用方法として、今後の海洋管理の重要な課題でもあり排他的経済水域の算定根拠ともなる低潮線基点の位置づけをネットワークとの関連で把握することが挙げられる。図-9、図-10に合わせ

図-9 鹿児島県海域離島の航行頻度と低潮線基点の分布

図-10 長崎海域離島の航行頻度と低潮線基点の分布

て示すように、鹿児島県海域には種子島3点、無人島3点の計6個、長崎県海域には対馬島19点、壱岐島1点、嵯峨島2点、無人島4点の計26個の基点がある^{5), 9)}。無人島にある7点は、いずれもネットワークの外側にあり、防衛上の監視・管理や当該海域での漁業などに加え調査研究などの実態的な活動による日常的・恒常的なかわりが必要と考えられる。

5. おわりに

離島のつながりとグラフ理論とのアナロジーに着目し、我が国の代表的な4都県の外洋離島のネットワークにつ

いて基本的な3つの指標により分析した。各海域の主島、属島、孤島、内海的離島などの特徴に言及するとともに、レーダーグラフによるネットワークの相違を明らかにした。また、点として与えられる離島にネットワークを付加することで、低潮線基点の立地との関係性を地図化し、指標の有効性について示した。

なお、本研究で用いたグラフ理論の指標は基礎的なものであり、今後はより離島の高度なネットワーク特性や内海離島の環境や歴史的な変遷などについて検討を進める予定である。

謝辞：本研究におけるデータ収集、指標値の算定は、平成24年度研究室4年生の箕輪康太君が精力的に実施してくれたものである。また、本研究の実施にあたっては、東亜建設工業株式会社より奨学寄付金の援助をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 山田吉彦・五明美智男・木村克俊：特別セッション「島しょ・離島海域の保全・開発・資源利用」まとめ、海洋開発論文集、第26巻、pp.37-39, 2010.
- 2) 山田吉彦・五明美智男・木村克俊：特別セッション「島しょ・離島海域の保全・開発・資源利用（その2）」まとめ、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol.67, No.2, pp.L49-51, 2011.
- 3) 増田直紀、今野紀雄：複雑ネットワークの科学、産業図書、2005.
- 4) 日本離島センター：2010 離島統計年報、JTB 印刷、2012.
- 5) 総合海洋政策本部：電子国土ポータルにおける低潮線保全区域の表示について、
<http://www.kantei.go.jp/singi/kaiyou/teichousen/hozenkuiki.html>
- 6) 国土地理院：電子国土ポータル、<http://portal.cyberjapan.jp/>

STUDY OF REMOTE ISLANDS NETWORKS BY ANALOGY WITH GRAPH THEORY

Michio Gomyo

After remote islands development for a long period and enactment of Basic Act on Ocean Policy, various actions to remote islands near the border are expected and executed. For better social and environmental understanding of remote islands, a new index on networks of remote islands is introduced by analogy with graph theory. It is composed of three parameters such as number of ports, courses and services. The investigations on typical remote islands in the ocean of Kagoshima, Nagasaki, Okinawa prefecture and Tokyo showed the effectiveness of the proposed index.