

# 水上飛行機導入による交通手段選択確率の推定

黒崎 実布由<sup>1</sup>・轟 朝幸<sup>2</sup>・川崎 智也<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 日本大学大学院 社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 744号室)

E-mail:csmi14009@g.nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 日本大学教授 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 744号室)

E-mail:tdoroki\_tomoyuki@nihon-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 日本大学助教 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 744号室)

E-mail:kawasaki\_tomoya@nihon-u.ac.jp

わが国では、新幹線や空港整備が着実に進められてきたが、これら高速交通体系の未整備地域は未だに全国に多数存在している。そのため、目的地によっては、大幅な移動時間を要することがある。そこで本研究では、このような高速交通体系の未整備地域に水上飛行機の導入を想定し、東日本の太平洋沿岸の港湾、湖沼を中心に、水上飛行機を活用した航空ネットワークを構築した場合の利用者行動変化についてモデル分析を行った。また、構築した交通機関選択モデルを用いて、感度分析にて水上飛行機のサービスレベルが変化した場合の利用者の交通機関選択確率を把握した。これらを踏まえ、水上飛行機の導入可能性について考察を行った。

**Key Words :** *water airport, seaplane, transportation mode choice*

## 1. はじめに

わが国において、新幹線や空港から離れた高速交通体系の未整備な地域は全国に多数存在している。それを解消するために、筆者らが参加している研究会などにおいて水上飛行機を活用した航空ネットワーク構築が提案されている。水上飛行機導入により、高速交通体系が未整備な地域においても移動時間の短縮が期待できる。また、水上で離発着するため、大規模な空港を必要としない。さらに、新たな企業立地等が期待され、地域全体も活性化すると考えられる。

実際にわが国においても、大正から昭和40年代にかけて、西日本を中心として水上飛行機による国内定期便が就航していた。海外では、カナダ・アメリカの西海岸で入り江や湖沼、河川を利用した20人程度が乗れる水上飛行機による旅客輸送が活発である。また、近年になってクロアリアやイギリスなどのヨーロッパや香港などのアジアでも水上飛行機運送事業が始まっている<sup>1)</sup>。

水上空港の知見としては、新機械システムセンター<sup>2)</sup>が、水上飛行機の運航に関わる諸条件を整理し、全国各地において水上飛行場の設置可能性を詳細に検討している。その結果、日本各地の沿岸や湖沼などには水上飛行場設置の適地が多数存在することを指摘している。角田

ら<sup>3)</sup>は海外の水上飛行場の利用実態を明らかにし、日本への導入における検討課題と水上空港設置の立地条件についてまとめている。その結果、わが国でも水上飛行機を展開できる可能性は十分あると結論づけている。

また、本研究の先行研究として轟ら<sup>4)</sup>は、水上飛行機を導入した際の水上飛行機のサービスレベルに対する利用者の行動変化に関する感度分析を行い、水上飛行機のサービスレベルのあり方に関して基礎的な考察を行っている。その結果、所要時間が大幅に短縮されることが期待され、当該区間における利用者の行動変化も所要時間の違いにより、交通機関選択行動に大きく影響を与えたことから、多くの利用者が水上飛行機を利用する可能性を明らかにした。この既存研究では、東京都市圏から宮古市を対象とし、鉄道と水上飛行機との交通機関選択の分析を行ったが、他の地域や幹線バスを対象とした分析はされていない。

そこで本研究では、より水上空港ネットワークを確立するために対象地域を東日本エリア全域に拡大し、交通手段は対象地域において、目的地まで一般的な移動手段として考えられる鉄道・幹線バスと水上飛行機とした水上飛行機選択モデルを構築することを目的とし、水上飛行機のサービスレベルが変化した場合の利用者の交通手段選択確率を把握し、水上飛行機の導入可能性について検

討する。

## 2. 東日本復興水上空港ネットワーク構想

日本大学理工学部において、伊澤岬名誉教授を中心とした「東日本復興水上空港ネットワーク構想研究会」が2011年に立ち上がった。この研究会では、計画地域における各種ニーズ、これまでの高速交通体系や総合交通体系の構築に向けた取り組みを踏まえたうえで、地域特性に合致した新たな交通体系として、水上空港整備ならびに水上飛行機を活用した航空輸送の導入、航空ネットワーク構築の可能性について研究を進めている<sup>5)</sup>。さらに、東日本における水上空港ネットワーク構築の可能性の調査・考察を行い、具体的なプランとして検討している。

本研究は当研究会の活動の一環として、水上飛行機を導入した場合の利用者行動変化について分析する。

## 3. 対象地域

本研究では、「東日本復興水上空港ネットワーク構想研究会」で提案している東日本エリアを中心とした十和田湖・宮古・釜石・気仙沼・塩竈・猪苗代湖・小名浜・中禅寺湖・芦ノ湖・霞ヶ浦・東京・下田の12地域を対象とした。水上空港は東日本の太平洋沿岸の入江、港湾、湖沼を中心に設置されるとし、東京湾を除いては、いずれも新幹線や陸上空港から離れた地域を結ぶものである。この12地域の水上空港ネットワークを図-1に示す。



図-1 水上空港ネットワーク

## 4. 研究手法

### (1) 分析手法

水上飛行機の導入による交通行動の変化を分析するにあたり、非集計モデルを用いる。非集計モデルを使用する理由としては、個人が交通機関を選択する上での行動原理や意思決定構造を分析・考察することが可能だからである。本研究では、対象地域において目的地まで一般的な移動手段として考えられる鉄道・幹線バスと水上飛行機を対象とした二項ロジットを採用する。本研究で使用するロジットモデルおよび効用関数を式(1)、(2)に示す。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} \quad (1)$$

$$V_i = \beta_1 Z_{1i} + \beta_2 Z_{2i} + \dots + \beta_k Z_{ki} \quad (2)$$

$P_{in}$ : 個人nが交通手段iを選択する確率

$V_i$ : 交通手段iの選択による効用の定数項

$\beta_k$ : k番目の説明変数に関する未知パラメータ

$Z_{ki}$ : 交通手段iに関するk番目の説明変数

### (2) 使用データ

分析に用いる利用者のODデータは「全国幹線旅客純流動調査2005年（以下、純流動調査）」を用いる。純流動調査で行われたアンケート個票に示されているODと経路、207ゾーン代表交通機関別拡大係数を利用する。なお、当該年における純流動調査は水上飛行機のデータはないため、航空データを水上空港利用者の行動と仮定しパラメータ推定に用いた。

出発地・目的地は、個票データの関東地方1都3県（東京都・埼玉県・千葉県・神奈川県）から東北地方4県（青森県・秋田県・岩手県・山形県）を対象とし、交通機関選択モデルのパラメータ推定に用いた。また、各経路利用の所要時間においては鉄道、幹線バス、航空ともに「Googleマップ」、「駅すばあと」にて検索した結果をデータとしてを使用した。なお、航空については手続きに要する時間を考慮して一律15分を加えている。運賃と運航頻度は、鉄道、幹線バス、航空ともに「JTB時刻表2005年5月」のデータを用いた。出発地・目的地は全国の都道府県を207ゾーンに区分したゾーンを用いて、ゾーンの中心都市の市役所・町村役場とした。

(3) パラメータ推定結果

パラメータ指定結果を表-1に示す。すべての説明変数についてのt値（絶対値）が2.50以上であり、99%有意水準を満たしている。また、符号条件も想定と合致している。自由度調整済み尤度比は0.574、的中率は53.8%となり概ね良好なモデルが構築できた。なお、「ラインホール本数」は交通機関経路における主要交通機関の本数を示す。また、本数の増加による効用の増加は通減するものと仮定し自然対数を用いた。ここで、総所要時間は値が45.08と一番大きく、本モデルの影響度合いが最も高いことがわかる。

5. 水上飛行機交通条件の変化に伴う感度分析

(1) 水上飛行機交通前提条件の設定

水上飛行機のラインホール本数、総費用を変化させた際、水上飛行機がどの程度選択されるかを明らかにするため、構築したモデルを用いて感度分析を行う。

水上飛行機の総所要時間、総費用は、先行研究で設定した東京都市圏から宮古市へアクセスする際の前提条件の総所要時間180分、総費用30,000円、ラインホール本数3本/日を基本として、表-2の通り原単位を設定する。本研究では、これらの条件を基本ケースとして、各OD間の水上飛行機の総所要時間、総費用を求め、さらに各変数を変動させて感度分析を行う。

表-1 パラメータ推定結果

説明変数	パラメータ値	t値
総所要時間(分)	-0.0111	-45.08
総費用(円)	$-3.08 \times 10^{-5}$	-5.15
ラインホール本数(ln本/日)	0.366	23.2
サンプル数		18384
自由度調整済み尤度比		0.574
的中率		53.8

表-2 水上飛行機サービスレベル原単位の設定条件

サービスレベル	水上飛行機
速度(km/min)	2.5
費用(円/km)	60
ラインホール本数(本/日)	3

(2) 総費用変化による感度分析

水上飛行機の総費用を変化させた際の感度分析の結果を表-3に示す。基本ケースで水上飛行機の選択確率が

0~1%の結果となった都市間以外は、水上飛行機の総費用を基本ケースの1.5倍に値上げすると、水上飛行機の選択確率が約5%低くなるが、半額に値下げすると選択確率が約4%高くなる結果となった。

このことから、水上飛行機の需要を確保するためには、料金設定をいかに鉄道・幹線バスに近づけるかが重要だと考えられる。

表-3 総費用変化による感度分析結果

(数値の単位: %)

地域	出発地	目的地	水上飛行機				
			基本ケースの半額	基本ケース額	基本ケースの1.5倍額		
東京		十和田湖	93	88	82		
		宮古	86	80	71		
		釜石	86	80	73		
		気仙沼	82	76	68		
		塩竈	0	0	0		
		猪苗代湖	8	7	6		
		小名浜	21	18	16		
		中禪寺湖	1	1	1		
		芦ノ湖	1	1	1		
		霞ヶ浦	0	0	0		
猪苗代湖		下田	0	0	0		
		気仙沼	46	41	37		
		中禪寺湖	0	0	0		
		芦ノ湖	32	26	22		
		霞ヶ浦	0	0	0		
中禪寺湖		下田	15	11	9		
		芦ノ湖	38	34	31		
小名浜		下田	25	21	18		
		気仙沼	63	58	54		
		猪苗代湖	1	1	1		
		中禪寺湖	2	2	2		
		芦ノ湖	31	26	21		
		霞ヶ浦	0	0	0		
		下田	22	20	17		
		十和田湖		釜石	71	68	65
				気仙沼	72	68	65
				塩竈	0	0	0
猪苗代湖	2			1	1		
小名浜	74			66	58		
中禪寺湖	74			66	57		
芦ノ湖	91			85	76		
宮古		霞ヶ浦	0	0	0		
		下田	77	65	50		
		十和田湖	93	92	91		
		釜石	26	26	25		
		気仙沼	71	69	66		
		塩竈	0	0	0		
		猪苗代湖	21	17	14		
		小名浜	75	69	62		
		中禪寺湖	1	1	2		
		芦ノ湖	37	25	17		
気仙沼		霞ヶ浦	0	0	0		
		下田	26	18	12		
		中禪寺湖	1	1	1		
		芦ノ湖	45	34	25		
		霞ヶ浦	0	0	0		
釜石		下田	75	74	73		
		塩竈	0	0	0		
		猪苗代湖	6	5	4		
		小名浜	77	72	67		
		中禪寺湖	2	2	1		
		芦ノ湖	58	46	35		
		霞ヶ浦	0	0	0		
霞ヶ浦		下田	39	27	18		
		中禪寺湖	1	1	1		
		芦ノ湖	21	19	17		
		下田	18	16	14		
塩竈		気仙沼	44	42	40		
		猪苗代湖	0	0	0		
		小名浜	44	41	38		
		中禪寺湖	1	1	0		
		芦ノ湖	31	23	18		
		霞ヶ浦	0	0	0		
		下田	13	9	6		
芦ノ湖		下田	4	4	4		

(3) ラインホール本数変化による感度分析

水上飛行機のラインホール本数を変化させた際の感度分析の結果を表4に示す。鉄道・幹線バスの基本ラインホール本数が15本/日以上地域は、水上飛行機の選択確率が0~5%という結果となった。逆にラインホール本数が少ない地域は70~80%と水上飛行機の選択確率が高い結果となった。また、ラインホール本数を変化させた

数が少ない地域は70~80%と水上飛行機の選択確率が高い結果となった。また、ラインホール本数を変化させた際に、水上飛行機の選択確率は約5~10%程基本ケースから増減した。

これらのことから、水上飛行機導入にはラインホール本数が概ね15本以下の少ないような交通の便が悪い都市間が適していると考えられる。

表4 ラインホール本数変化による感度分析結果

(数値の単位: %)

地域		水上飛行機		
出発地	目的地	2	3(基本ケース)	4
東京	十和田湖	84	88	92
	宮古	73	80	85
	釜石	74	80	85
	気仙沼	69	76	82
	塩竈	0	0	0
	猪苗代湖	5	7	9
	小名浜	14	18	25
	中禅寺湖	0	1	1
	芦ノ湖	1	1	2
	霞ヶ浦	0	0	1
猪苗代湖	下田	0	0	0
	気仙沼	33	41	50
	中禅寺湖	0	1	1
	芦ノ湖	20	26	34
	霞ヶ浦	0	0	0
中禅寺湖	下田	8	11	16
	芦ノ湖	27	34	43
小名浜	下田	16	21	28
	気仙沼	49	58	67
	猪苗代湖	1	1	1
	中禅寺湖	1	2	2
	芦ノ湖	19	26	33
	霞ヶ浦	0	0	0
	下田	15	20	26
	十和田湖	釜石	60	68
気仙沼		60	68	76
塩竈		0	0	0
猪苗代湖		1	1	2
小名浜		58	66	74
中禅寺湖		57	66	74
芦ノ湖		79	85	89
霞ヶ浦		0	0	0
下田		56	65	73
宮古		十和田湖	88	92
	釜石	19	26	33
	気仙沼	61	70	77
	塩竈	0	0	0
	猪苗代湖	12	17	23
	小名浜	61	69	76
	中禅寺湖	2	1	1
	芦ノ湖	19	25	33
	霞ヶ浦	0	0	0
	下田	13	17	23
気仙沼	中禅寺湖	0	1	1
	芦ノ湖	27	34	43
	霞ヶ浦	0	0	0
	下田	13	18	24
	釜石	気仙沼	66	74
塩竈		0	0	0
猪苗代湖		3	5	7
小名浜		64	72	79
中禅寺湖		1	2	2
芦ノ湖		37	46	55
霞ヶ浦		0	0	0
下田		20	27	35
霞ヶ浦	中禅寺湖	0	1	1
	芦ノ湖	14	19	25
	下田	11	16	21
塩竈	気仙沼	33	42	51
	猪苗代湖	0	0	0
	小名浜	33	41	50
	中禅寺湖	0	1	1
	芦ノ湖	18	23	31
	霞ヶ浦	0	0	0
	下田	6	9	12
芦ノ湖	下田	3	4	6

6. 水上飛行機の導入可能性の検討

ここでは、目標とするロードファクターを設定し、それを達成するための水上飛行機の1日の運航本数を検討する。出発地を東京とし、純流動調査より算出した各OD間の鉄道・幹線バス・航空の利用者数と、前章で算出した利用者による水上飛行機の選択確率からロードファクターを算出した。本研究では、使用機材を定員20名、水上飛行機の総費用を鉄道・幹線バスの総費用の約2倍とした。また、目標とするロードファクターは、運航採算性を十分に確保できるであろうレベルとして80~120%と設定し算出した。その結果を表5に示す。

ほとんどの地域において、目標とするロードファクターに達するためには、前節で基本として設定していたラインホール本数3本より多く設定する必要があることがわかった。また、鉄道・幹線バスのラインホール本数が少ない地域ほど水上飛行機の運航本数を多く設定しなければ目標に達しないことが明らかになった。

表5 東京からの運航本数とロードファクター

出発地	目的地	水上飛行機		
		便数	選択率	ロードファクター
東京	宮古	8	96%	108%
		9	97%	97%
	下田	9	1%	80%
		12	2%	120%
	猪苗代湖	2	5%	152%
		4	9%	137%
	十和田湖	68	99%	120%
		100	99%	82%
	釜石	12	99%	86%
		9	97%	112%
	気仙沼	21	99%	119%
		30	99%	84%
	霞ヶ浦	13	6%	109%
		12	4%	78%
	中禅寺湖	13	20%	119%
12		15%	97%	

## 7. おわりに

本研究では水上飛行機の手段選択モデルを構築し、構築したモデルを用いて鉄道・幹線バスと水上飛行機を選択確率を感度分析より明らかにした。その結果、水上飛行機を導入することで鉄道や幹線バスのラインホール本数が少ない地域を中心に約70~80%の確率で水上飛行機を選択する結果となり、既存交通の便が悪い地域に導入することが効果的であることが明らかとなった。また、運航採算性を十分に確保するためのロードファクターを達成するためには、水上飛行機の本数を増加させなければならないことがわかった。

今後は東日本地域だけでなく、水上飛行機が充実したネットワークを確立するために西日本地域においても分析を行う必要がある。また、目的地へは自家用車も利用されていることから、自家用車を含めたモデルを構築する必要がある。さらに、より現実的な実現可能性を検討するために、事業採算性を検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) Giangi Gobbi, Barry Lightening, Bernd Sträter, Andrzej Majka: Report on current strength and weaknesses of existing seaplane/ amphibian transport system as well as future opportunities including workshop analysis, FUSETRA,2011.
- 2) 新機械システムセンター：『新海洋交通システムに関するフィージビリティ・スタディ報告書』，機械振興協会，1987.
- 3) 角田健：水上飛行機の利用実態及び水上飛行場の設置基準に関する研究，日本大学理工学部社会交通工学科卒業論文，2004.
- 4) 轟朝幸，西内裕晶：水上飛行機導入による交通行動変化に関する研究-東京都市圏~宮古市の利用者を対象として-，日本交通学会第72回研究報告会予稿集，2013.
- 5) 伊澤岬，轟朝幸，江守央，畔柳昭雄，居駒知樹，青木義男：東日本復興水上空港ネットワーク構想，第56回日本大学理工学部学術講演会.

(?)