

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：32665

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14052

研究課題名(和文)水上飛行機の離発着場整備に関する基礎調査

研究課題名(英文)Basic survey of seaplane base development

研究代表者

轟 朝幸 (TODOROKI, Tomoyuki)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：60262036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：日本において水上飛行機による航空運送事業が2016年に半世紀ぶりに再開された。しかし、水上機が離発着する水域を利用している船舶や漁業などから水上機の離発着への懸念が示されている。そこで、水上機運航が活発なカナダ、アメリカ等の先進事例調査を実施した。その結果、水上機離発着場が数多く整備され、AIP(航空路誌)にて公表していた。水上機の離発着数が多いバンクーバー等では、航空管制などによる運航支援システムが整備され、狭あいな入江のヴィクトリアでは、水上機と船舶の利用エリアを区分した運用ルールを整備していた。これらのように、水上機と船舶などがともに安全に運航できる環境整備が進められていた。

研究成果の概要(英文)：A seaplane transport business has re-started in Japan since 2016. However, seaplane takeoff and landing are concerned about safety usage by ships and fishermen. Then, advanced cases of seaplane bases in Canada, USA, etc. were investigated in this study. As a result, it is founded out that a lot of seaplane bases are registered in the aeronautical information publication. At seaplane bases with heavy traffic like Vancouver, air traffic control systems are introduced. At a narrow inlet in Victoria, traffic scheme for seaplanes and ships are introduced. As mentioned above, environment of safety operation with seaplanes and ships has been established in advanced cases.

研究分野：交通システム工学

キーワード：水上飛行機 水上飛行場 空港工学

### 1. 研究開始当初の背景

北米では、水上機(事業用・個人用)がごく普通に空を飛び交っている。1980年代にはバンクーバーにて水上機定期運送事業が開始され、それ以降西海岸では水上機運送ネットワークが充実してきた。近年になって、ヨーロッパ(スコットランド、クロアチアなど)やオセアニア・アジア(オーストラリア、モルジブ、香港など)などでも水上機運送事業が普及してきている。一方、日本においては1960年代まで水上機定期運送が西日本を中心に行われていたが、飛行機の大型化・ジェット化、陸上空港の整備進捗などの理由により、日本の空からは消えていった(海上自衛隊保有機を除く)。近年になって申請者らの研究グループ「東日本復興水上空港ネットワーク研究会」が日本への復活を提唱している。それと時を同じくして、瀬戸内や天草などでも水上機を使った遊覧飛行事業などが勃興し始めている。

しかし、水上機の離発着する水域エリアでは、すでに船舶や漁業、レジャーなどの利用が活発にされていることも多い。安全かつ効率的に水上機を運航するには、それら既存の利用者との調整は不可欠であり、また運航ルールづくりや運航支援システムも必要である。

申請者らは、水上機の普及を目指して、水上機導入時の需要予測に関する研究を行ってきた。海外での事業化動向なども調査し、需要面からは一定の事業性が見込めることを明らかにしてきた。今後は、実運用での課題をクリアする必要があるものと考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、海外の先進事例から水上機の離発着エリアにおける、(1)水上機および船舶の通行運用方法、(2)他利用者との調整状況、(3)運航支援方法などについて明らかにする。

海外の運用状況をレビューすることで、我が国での運用ルールづくりの一助とできる。しかし、これらの海外動向について調査した研究報告などはない。また、船舶が過密に航行している水域では、水上機が共存するための運航支援システムの導入も有効である。海外では、水上機が離着水する際に、船舶に対してフラッシュライトでその存在を知らせる機器がある。これらに加え、新たに船舶の位置情報をリアルタイムで把握し、水上機へ情報提供する機器の開発が有効と思われる。海外において、このような運航支援の方法や機器システムの開発動向を明らかにすることは、日本でも勃興し始めた水上機事業の普及に大きく資するものである。

なお、本研究の継続課題として、科学研究費基盤研究Bの研究課題を進めている。本研究の成果をもとに、水上機離発着場の整備に関わる運用ルールの提案や運航支援システ

ムの開発にむけた研究を行っている。

### 3. 研究の方法

水上機運送事業が活発なカナダ西海岸(バンクーバー、ヴィクトリア、ウイスラー)、アメリカ西海岸(シアトル)を訪問し、水上機離発着数および船舶航行数、水域の共同利用形態、運用ルール、運航支援システムなどについて、現地において関係者へのインタビュー調査と関連施設の巡検を実施する。また、近年、新たに運航を開始したスリランカの導入経緯や離発着場の整備状況などについても現地においてインタビュー調査と巡検を実施する。さらに、半世紀ぶりに日本に導入された事例である瀬戸内(尾道)の水上機離発着場についても巡検を行う。

これらの調査結果を踏まえ、水上機離発着場の日本導入への示唆についての検討も行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 海外の水上機離発着場の調査

##### バンクーバー

カナダのブリティッシュコロンビア(BC)州ではバンクーバーを拠点として、複数の運航会社による水上機の定期便ネットワークが充実している。バンクーバーにはダウンタウンに近接したハーバー(コールハーバー)とダウンタウンから南へ約15kmに位置する国際空港に隣接する河川に、2つの公共の離発着場が設置されている。

コールハーバーの水上機離発着場は、世界最大級の水上空港である(図-1)。水上機の主たる運航会社はHarbour AirとSeaair Seaplanesであり、その他にチャーター便を運航する会社もある。



図-1 Vancouver Harbour Flight Centre

コールハーバーは奥深く切れ込んだ入江であり、コンテナ船やばら積船の大規模ターミナルに加えて、大型客船が接岸する埠頭・ターミナルがあり、商船の出入りは非常に多い。さらに、湾内にはプレジャーボート用のマリーナもあり、その往来も頻繁である。複数の商船が入港待ちのために湾外で待機している状況である。このように船舶の往来の激しい湾内で水上機が5~10分程度の間隔で

着水、離水を定期便とチャーター便が繰り返している状況である。水上機の離発着が定められたエリアは、Area Alfa と名付けられた旅客ターミナル沖合の正方形に近い場所で、離着水の方向までは指定されていない。大型の貨物船や旅客船の動線とは概ね重ならないが、その動線とは隣接している。プレジャーボートなどの小型船は、このエリアの西にマリナーがあることから、そこそこの頻度でエリア内を航行している。とはいえ、船舶も水上機も多くても数分程度の航行頻度であり、それらがお互いに空間と時間を譲歩しながら航行しているため、交錯が問題となることはほとんどない。

この水上機離発着場は Vancouver Harbour Flight Centre (VHFC) が運用し、それが水上空港の名称そのものでもある。かつては Vancouver Harbour Water Airport や Vancouver Coal Harbour Seaplane Base と呼ばれていた。水上空港ターミナル内にある VHFC オフィスがターミナルサービスを提供・管理すると共に、管制はウォーターフロントに位置する高層ビルの屋上に設置された管制塔から Vancouver Harbour Control Tower オフィスが行っている。フライトセンターはリアルタイムで、風向・風速等の気象情報に加え、海象情報を提供している。管制塔は、いわゆる細かな航空管制までは行わないが、船舶運航状況を提供したり、海面上に浮遊する障害物などの情報を適宜水上機のパイロットやフライトセンタースタッフに提供している。バンクーバー港内には水上機の運航を行政が直接管理する専門のハーバースターは存在せず、民間セクターである前述のフライトセンターと管制塔が空港を管理・運用している。水上機の安全運航という観点からは、上述したような気象・海象のリアルタイム情報がパイロットに提供されるだけでなく、離発着水海域が指定されており、その水域内で離発着水が行われる。ただし、進入方向などほとんどの判断はパイロット自身による。また、船舶については航行船速が離発着水域周辺で制限されている。

旅客ターミナルは陸上にあり、ボーディング施設は浮桟橋となっている。機体メンテナンス用浮きドックもあり、航空機燃料（ジェット燃料とガソリンの2種類）の給油のためのハイドラントシステム（貯油タンクから桟橋までの配管）や消火栓システムなどが設置され、空港としての基本施設・設備が整備されている。

#### ヴィクトリア

BC州の州都であるヴィクトリアは、バンクーバー島に位置している。本土との主な交通手段はフェリーである。Victoria Inner Harbour にはバンクーバーなどとの定期運航フェリーだけでなく、アメリカとの定期船の入港もある。プレジャーボート用のマリナーも古くから整備されており、プレジャーボ-

ートの往来は当然であり、観光における水上利用も盛んであり、体験カヌーや水上タクシーも頻繁に海上を往来する。さらにインナーハーバーにはフロートホーム (Float Homes) や浮体構造によるフィッシャーマンズワフがあり水面利用は極めて多様である。

Victoria Harbour SPB (離発着場) は税関機能を有し、国際線 (定員が 15 名と制限される小型機) の運航が可能である。運航する航空会社は VHFC でのそれと同様の会社に加えて、米国シアトルとの間を運航する Kenmore Air がある。

このインナーハーバーは地形的に狭あいであるが、大型船舶のみならず小型船舶の往来も極めて多い。そのため、水上機の離着水エリアとタキシング (水上移動) エリアは明確に定められている。その離着水エリアでは、大型船舶の航路にも指定され共用しており、小型船舶等の航行は制限 (横断等が必要なため、進入は禁止されているわけではない) されている (図-2)。



図-2 Victoria Harbour の航行制度

前述のバンクーバーの VHFC とは異なり、水上機を含めた水面の利用管理を行政機関である Transport Canada (交通省) が一元的に行っている。ヴィクトリア湾には、インナーハーバーを管理するハーバースター (Harbour Master) が常駐している。ハーバースターはヴィクトリア港全体の管理責任者であり、水上機の運航状況などの監視だけでなく水面利用者全体の安全・管理責任も追っている。これはカナダ国内でも稀な例である。2001 年から Victoria Harbour Water Airport のための Water Airport Operations Manual が運用されており、空港責任者と港湾管理者の責任や管理方法等についてマニュアル化されている。その中で緊急時対応やそのための設備、安全管理指針等が示されている。このマニュアル作成は、船舶や水上機などの交錯の危険性や周辺住宅地での騒音が指摘されたことから、地域住民や船舶など水域利用者を巻き込んで検討を進めた経緯があり、ステークホルダーの合意形成を図りながら、水域利用区域の設定や運用ルールを定めたとのことである。なお、湾岸にはヘリポートもあり、そこには管制塔があり、航空機へは運航情報のみを提供している (その情報

に基づき、パイロットが運航を判断)。

旅客ターミナルを含めて全ての施設と設備が水上に設置されている(図-3)。棧橋等の設備は通常のマリーナ設備と同様に考えればよいが、不特定多数の旅客が出入りするターミナルが港内に浮体で設置されていることは興味深い。日本ではこのような施設を浮体で設置することは不可能ではないが、極めて手続きが面倒である。大きな理由は適用する法規が曖昧だからである。それらについての詳細はここでは割愛するが、技術的課題よりも法規的課題の方が難問であると思われる。ヴィクトリアでは歴史的にフロートホームが存在していたこともあり、ヴィクトリア港専用の Standards for Float Homes and Live-Aboard Vessels in Victoria Harbour なる基準が存在し、水上機や船舶の航行制限等のマニュアルと合わせて、海上利用についての取り扱いが明確化されている。

なお、この水上空港ターミナルは2016年4月に新設された。旧ターミナルもそうであったが、浮体式であり規模が拡張された。浮体式ターミナルの曳航や設置についても、港湾内工事であるためにハーバースターが管理を行っている。



図-3 Victoriaの旅客ターミナル

#### ウィスラー

ウィスラーは、バンクーバーから北へ約120kmに位置する山岳リゾート都市である。バンクーバーおよびヴィクトリアとの間に定期便(3便/日)が就航している(冬季は運休)。

水上機離発着場は、中心市街地から3kmほど離れたグリーンレイクにある。旅客ターミナル関連の施設と設備は水上に設置されている。リゾートらしい佇まいの小さな旅客ターミナル小屋とその小屋を囲むように配置された棧橋のみの構成である(図-4)。棧橋には4~5機が着陸でき、給油システムと消火設備が設置されている。この棧橋から離れた水上にも駐機場(水上機を係留する杭のみ)が設けられており、プライベート機なども駐機できる。なお、隣接する湖岸にはホテルが立地していて、トイレやレストラン、ショップなどのホテルの設備を旅客や従業員は利用している。また、街なかとのアクセスとして、シャトルバスサービスを提供している。

駐車場は、隣接するゴルフコースと共用している。



図-4 Whistlerの旅客ターミナル

グリーンレイクは、山岳に囲まれた谷地に北東-南西向きに細長い約3kmの水面が広がっている。その形状に合わせて北東-南西向きに離着水エリアが設定され、尾根を避けるように飛行ルートが設定されている(図-5)。湖岸のホテルやコテージが建ち並ぶ地区や北側の山岳部は飛行禁止エリアとなっている。4~5名のエアラインスタッフが常駐して、搭乗手続などの旅客サービスのほか機材整備などを行っている。山岳部にあるため、気象条件は海上にある水上空港より厳しい。視程や風況などのリアルタイムの気象概況は、近くにあるヘリポートから提供を受けるとのことであった。湖面においては、ボートなど船舶の利用は比較的少ない状況であった。

観光リゾート地において、その需要規模に合わせた小規模な設備と運用が特徴的な水上機離発着場である。



図-5 Whistlerの離発着場エリアマップ

#### シアトル

アメリカ・ワシントン州はカナダとの国境に位置し、海と湖などの多くの水面を有し、水上機離発着場を多く有するエリアとして世界的にも有名である。特に州最大の都市であるシアトルは、航空機産業が予てから盛んであることから、航空機との縁深い土地柄である。このシアトル周辺で最も古くから水上機による定期旅客事業を行なっているKenmore Airはカナダ・ヴィクトリアへの国際線を含む5路線に対して概ね3往復(路線ごとに季節、曜日によって異なる)の運航を

行なっている。この路線は、バスや鉄道などの他の交通モードと競合せず概ね 100km 程度の路線を中心としたネットワークを形成している。同路線のフェリーはあるものの短時間移動の交通需要に対応し運航している。

現在、同社は図-6 に示すような、最小で 3,000×1,000ft の離着水帯を有する水上機離着場を 2 箇所管理している。このうち一つは定期旅客便の発着地であり、簡易的な出入国検査設備を有する Kenmore Air Harbor, Inc と、もう一つはチャーター便の発着地となる Kenmore Air Harbor SPB (離着水場) である。陸上には、水上機本体やフロートなどの部品の販売展示場や修理・点検施設、格納・点検施設、フロート部品保管施設ならびに燃料庫などの施設が併設されている。さらに専門の技術者数名が常駐しており、周辺国内外の水上飛行機のメンテナンス業務も並行して行なっている。このように旅客事

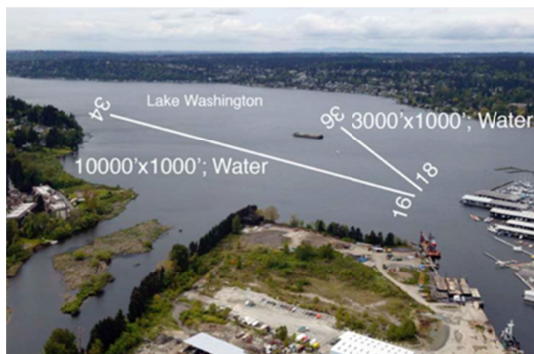


図-6 Kenmore Air Inc.の離着水帯

業とともに水上機に欠かせないフロートの販売、修理、装着を行っていることが特徴といえる。

### スリランカ

スリランカの国内主要交通であるバスは、首都のコロンボを中心とした道路ネットワークを利用し、国内全域で運行している。しかし、高速道路の整備などは一部に限られていることや一般道路の整備も進んでいないことから、国内の移動には多くの時間が必要であることが現在も問題視されている。このようななか、スリランカ民間航空局の年次報告書によると、2011年よりこれまでの軍事飛行場や既存のラグーンなどの水域を活用した飛行場を整備することで、国内便による高速移動の需要へ対応を行なってきた。現在、スリランカ国内には 12 箇所の陸上空港と 15 箇所の水上機離着場により国内便ネットワークを構築している。この国内便を担っている Cinnamon Air は国内最大の航空会社である Sri Lankan Air から乗客 10 名の DHC-3 を引き継ぎ、2013 年に運航を開始している。

この Cinnamon air の CEO へのヒアリングによると、スリランカ国内の水上機離着場の特徴として、すでにある自然環境をそのままに活かしつつ既存施設で併用させるなど、

特別な施設や整備を行わずに運用を行なっている点にある。図-7 に示す Bentota River Airport は首都のコロンボから南に約 60km のリゾート地にある水上機離着場をあげる。空港施設として 15×5m ほどの桟橋と川に面した既存ホテルの庭園で乗客の搭乗手続き等が行われる。写真中の 2 名は搭乗管理を Cinnamon Air から委託されている臨時スタッフであり、搭乗者の手続きのほか、離着水時にはエリア内の船の動きなどを監視している。

また、スリランカは海に囲まれた国土であるが、内陸には豊かな河川やラグーンなどの水域があることから、機材のメンテナンスが懸念される海上を利用する必要はない。これらの内陸水域には利用料を支払う必要はな



図-7 Bentota River Airport 概略

いことも特徴的である。さらに環境・騒音問題や漁業関係者などとの課題に深刻なものはないものの、利用者は他の交通機関と比較すると費用が高いため高所得者や外国人の利用に留まっている。

### (2)水上機離着場の日本導入への示唆

海外調査した水上機離着場は、バンクーバーやヴィクトリアのような大規模なものから、ウイスラーやスリランカのような小規模のものまでを対象としてきた。小規模なものを含めて、それらは飛行場として国の航空行政により認定され、離着水が可能なエリアと給油施設等付帯施設や無線情報の提供サービスなどが、陸上空港と同じように AIP (航空路誌 Aeronautical Information Publication) にて公表されているのが一般的であった。特にカナダ・アメリカでは、個人所有での水上機運用は古くから盛んであり、極めて多くの水上機離着場が登録されている。市街地が近い場合や山岳部などにおいては、安全な空域を飛行したり、騒音などの影響を抑えるために飛行ルートも示されている。

わが国においても、まずは水上機離着場を運用する場合には、AIP への登録が第一ステップである。その場合、離着水エリアの設定を検討する際に、船舶や漁業など既存の水面利用者との協議・調整は欠かせない。しか

し、船舶も水上機もトラフィックの多いバンクーバーの例のように、エリア指定しても船舶航行への影響は限られているため、既存の水面利用者へはその事実などを丁寧に説明して理解を得ることが不可欠である。

狭い水面において、船舶などが頻りに水面を行き交う場合には、ヴィクトリアで策定したような海上空港運用のための詳細な管理・運用マニュアルを関係するステークホルダー間での協議を経て作成するのがよい。ただし、水上機離発着場を運用するための法整備や基準整備は重要であるが、全てに対して一般化された画一的なマニュアルは必ずしも必要ない。空港が設置される水域の物理的・地理的特性や地域との連携の特徴を反映させた柔軟なマニュアル整備も必要である。

船舶等との衝突などの安全面に関しては運用マニュアルでは最低限の制限を設けるにとどまり、実際にはパイロットの技量に頼っている。これは Transport Canada や Harbour Air などでのヒアリングからの印象でも同様であった。そのため、パイロットの飛行訓練や飛行時間は極めて長い。パイロットは離水時では周辺状況は見えていないし、着水のために進入してくるときは、上空から水面の様子全体を視認できるため、衝突等の事故は基本的に懸念されていないのが実際である。ただし、過去のカナダ国内の事故例の中には船舶との衝突もある。これは水上でのタキシング移動中にジェットスキーなどに衝突されるなどの事故が主であるとのことであった。

水上機離発着場は、市街地に近い水辺だったり、リゾート地に立地する場合も多く、周辺地域との連携・調整は不可欠である。限られた空間において既存施設がどの程度使用できるかなどの検証が必要である。特にリゾート地などでは、必要最低限の施設整備とすることで、整備および運用の費用を抑えられる。一方で、環境や騒音などの近隣住民や水面管理者との協議に費用や時間をかけて合意形成を図ることが重要であろう。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

轟朝幸：水上飛行機による高速交通インベーション - 全国津々浦々の地方創生をめざして - , KANSAI 空港レビュー, 査読無, No.460, pp.29-31, 2017.

〔学会発表〕(計4件)

轟朝幸：水上飛行機システムの導入と地域振興への活用, 第1回未来の空港・航空システム研究会, 一般財団法人みなと総合研究所(東京都港区), 2017年2月23日.

轟朝幸・居駒知樹・江守央：海外事例に学ぶ水上空港の整備-水上空港ネットワーク構想の実現に向けて-, 平成28年度日本大学学部連携研究推進シンポジウム,

日本大学理工学部(東京都千代田区), 2017年1月21日.

尾形直希・佐田達典・江守央：衛星測位を用いた波高変動の計測, 第60回日本大学理工学部学術講演会, 日本大学理工学部(東京都千代田区), 2016年12月3日.  
小宮山春菜, 轟朝幸, 兵頭知：水上飛行機導入の交通手段選択確率の推定 - 西日本を対象として -, 第60回日本大学理工学部学術講演会, 日本大学理工学部(東京都千代田区), 2016年12月3日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

轟朝幸(TODOORKI, Tomoyuki)  
日本大学・理工学部・教授  
研究者番号：60262036

### (2) 連携研究者

居駒知樹(IKOMA, Tomoki)  
日本大学・理工学部・教授  
研究者番号：50302625

江守央(EMORI, Hisashi)  
日本大学・理工学部・助教  
研究者番号：30328687

川崎智也(KAWASAKI, Tomoya)  
東京工業大学・環境・社会理工学院・助教  
研究者番号：30706702

兵頭知(HYODO, Satoshi)  
日本大学・理工学部・助手  
研究者番号：90778341  
(平成28年度より連携研究者)

### (3) 研究協力者

桐島弘之(KIRISHIMA, Hiroyuki)