

# 海上空港に関する包括的環境影響評価

正員 村井基彦\*

養安明理\*

## Inclusive Environmental Impact Assessment for Construction of Offshore Airport

by Motohiko Murai, *Member* Akari Yoan,

### Summary

Coastal development is supporting improvement of economic activity and convenience for city residents. On the other hand, the development has brought loss of 90% or more of natural beach line and disappearance of the tideland, which has purification function in Tokyo-bay. In the recent years, sustainability is one of the important keywords for the development. In general, the development such as constructing an offshore airport carries both economical advantage and environmental disadvantage. It is generally very difficult to consider their balances and to judge which is important. Inclusive Impact Index (Triple I) is proposed by Marine Environmental Committee in JASNAOE. The index includes environment factor, which is obtained by the method of Ecological Footprint, and economical factor, which is converted to global hectare. We can objectively discuss the social importance of the development by using this index. In this research, we obtained the Triple I (III) of construction of an offshore airport and discussed its social importance from both environment viewpoint and economical viewpoint.

### 1. 緒言

長い海岸線を有し国土に比して広大な海洋空間を有するわが国では、古来より海は運輸、漁業、海洋レジャーの場等として、社会活動や生活の中心に位置づけられてきた。この海洋空間の有効利用に関しては、近代以降は埋め立て工法が主流であり、大都市沿岸の多くの内湾の浅海域が埋め立てられることによって人工空間が創出されてきた。これらの空間の利用形態としては居住空間もあるが、特に高度経済成長期からは社会基盤的な用途ではあるが、広大な一続きの用地取得の必要性に加え騒音や公害などの観点から既存の都市部には空間確保が困難になりつつある工業用地や空港用地などが利用する形態が多い。また、こうした陸域の拡大や経済活動の拡大に伴った港湾施設の整備においても埋め立てによる沿岸域の利用が主流である。

こうした開発行為は、都市住民にとって一定の利便性の向上やあるいは活発な経済活動を支えることになる反面、東京湾では自然海浜の90%以上が消失し、湾内の海洋環境浄化機能を担うと考えられる干潟なども激減するなど、海洋環境へも無視出来ない影響が及ぶことが明らかになりつつある。こうしたことから、近年では持続可能な開発というコンセプトが掲げられているが、特に環境影響などについては不可逆的な要素も多い。また、海洋開

Table 1 An outline of the expansion construction of Haneda Airport

Enhanced area	135[ha]
Average water depth	15[m]
Construction cost	6000 [10 <sup>8</sup> Yen]

発は経済活動と密接に関連していることから、環境面での持続性と経済面の持続性の両面の問題を抱えており、海洋開発に伴う環境的価値の増減と海洋開発がもたらす経済的価値の増減を比較することは一般には非常に困難である。そこで、こうした海洋開発の是非に関して日本船舶海洋工学会 IMPACT 専門委員会から包括的環境影響評価指標としてトリプルアイ (III) が提案されている。III では環境面での持続性と経済面での持続性を包括的に扱うという特徴がある。

そこで本研究では海洋空間利用の一つの形態である海上空港に関してトリプルアイ (III) に基づいた評価を試みる。

### 2. 想定した海上空港の建設の概要

本研究においては、海上空港の建設に関して羽田空港の再拡張事業<sup>1)</sup> (Fig.1) の規模を参考に行った。Table.1にその設定条件の概要を示す。尚、現在進行中の羽田空港再拡張工事では埋め立て工法が約7割、栈橋工法が約3割の面積を占めている。

### 3. 海上空港の建設に伴うエコロジカルフットプリント (EF) の増減

\* 横浜国立大学大学院

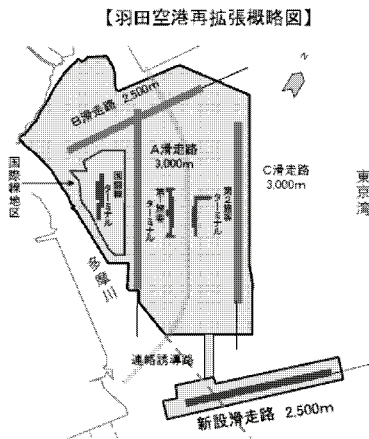


Fig. 1 Concept of Haneda Airport enhancement<sup>1)</sup>

Table 2 Equivalence factors for various types of productive land

Area type	Actual area [10 <sup>9</sup> ha]	Equivalence factors [gha/ha]	Total bio-capacity [10 <sup>8</sup> gha]	Total activity-load [10 <sup>9</sup> gha]
Cropland	15	2.10	31.5	-
Pasture	35	0.48	16.8	-
Forest	38	1.37	52.1	-
Built-up area	3	2.19	-	6.57
Productive sea area	23	0.36	8.28	-
Total	114	-	114	-

3.1 エコロジカルフットプリントとは

エコロジカル・フットプリント (EF) は、1990年代にブリティッシュ・コロンビア大学のウィリアム・リース教授と当時博士課程に在籍していたマティス・ワケナゲル博士によって開発された指標で、人間経済活動による資源やエネルギーの利用・消費量を、その活動を支えるのに必要な生物生産力を土地面積の概念：グローバルヘクタール (gha) に換算して表す指標<sup>2)</sup>である。この指標に基づけば2001年の人間活動を支えるには170億 ghaが必要であるとされている<sup>3)</sup>。一方、地球全体が持っている総生物生産力の gha の導出にあたっては、人間が利用可能と考えられる土地の実面積を地球表面積約4分の1にあたる114億 haとし、その土地の利用形態を5つのカテゴリー：「耕作地」、「牧草地」、「森林地」、「生産力阻害地」、「生産力のある海域」に分類し、総実面積と総生物生産力面積 gha が等しくなるように利用形態に応じた換算を行う。換算値を Table2に示す。

この地球の生物生産力=生物許容力 [114 億 gha/year] に対して人間活動の生産力と比較すれば、その活動の持続可能性を測る物差しとして用いることができる。この指標に基づけば、2001年の人間活動を支えていた170億 gha は、すでに地球の生物許容力を約30%の超過しており、現在の人間活動全体としては持続不可能な活動をしていると判断されている<sup>4)</sup>。

Table 3 Necessary steel gross weight, the amount of emission of CO<sub>2</sub> and EF to the floating airport runway construction

Area of runway	135[ha]
Total steel gross weight	589[10 <sup>3</sup> t]
Total steel gross volume	7.50[10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ]
CO <sub>2</sub> emission units of steel	1.89 [tCO <sub>2</sub> /tSteel]
CO <sub>2</sub> emission units of processing of steel	1.11 × 10 <sup>6</sup> [tCO <sub>2</sub> ]
CO <sub>2</sub> absorbed amount by forest	5.20 [tCO <sub>2</sub> /ha/y]
Equivalent factor of forest	1.35 [gha/ha]
Consumed EF[gha]	2.89 × 10 <sup>5</sup> [gha]

y:year

3.2 建設に関わる EF

海上空港の建設の EF は、建設に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を求め、それを吸収するために必要な森林面積で換算することによって得る。海上空港の建設にあたっては、【原材料の調達に伴う CO<sub>2</sub> 排出】【原材料の加工に伴う CO<sub>2</sub> の排出】【資材の輸送・建設作業に伴う CO<sub>2</sub> の排出】に分けて考える。

3.2.1 浮体工法の場合

浮体工法においては殆どの建設材料が鉄鋼であるとして計算を行った。本研究では浮体の内部構造を鈴木らの研究<sup>5)</sup>から Fig.2 とし、滑走路建設に関わる鋼鉄総体積は7.50[万 m<sup>3</sup>]、総重量は58.9[万 t]と推定した。浮体による海上空港用地の取得に必要な鋼材量および鋼材の加工に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を Table 3に示す。CO<sub>2</sub> 排出量の算出については羽田空港再拡張事業の LCA<sup>6)</sup>を参考にした。

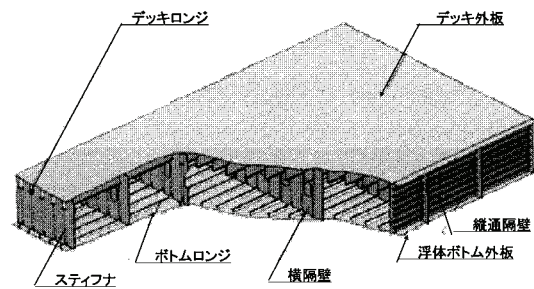


Fig. 2 Sketch of inner structure of Floating Airport<sup>5)</sup>

これらにより、浮体式海上空港滑走路の建設にともなう EF は28.9[万 gha] が得られた。次に、これらの原材料および鋼材の輸送に伴う CO<sub>2</sub> の排出量については、産業連関表および交通エネルギー要覧<sup>7)</sup>から Table 4のように推定した。

ここで、資材輸送距離は鉄鉱石の海外からの輸入距離および国内移動距離の代表値とし、貨物船の CO<sub>2</sub> 排出原単位については内航船のデータを用いた。これらをまとめると、浮体工法の鋼材の調達に係わる EF の値は 3.03 × 10<sup>5</sup>[gha] となることが分かる。また、鋼材の生産に係わる EF : 2.89 × 10<sup>5</sup> [gha] は、その輸送に係わる EF : 1.42 × 10<sup>4</sup> [gha] の約20倍になっており、環境負荷の大半は鋼材の生産過程であることが分かる。

Table 4 Necessary EF and  $CO_2$  emission for transport of the necessary steel

Steel gross weight	$5.89 \times 10^5 [t]$
Average material conveying distance	$2.30 \times 10^3 [km]$
$CO_2$ emission unit of the transportation by the domestic cargo ship	$4.03 \times 10^{-5} [tCO_2/t \cdot km]$
Total amount of $CO_2$ emission in transportation	$5.47 \times 10^4 [tCO_2]$
Amount of $CO_2$ absorbed in forest	$5.20 [tCO_2/ha/y]$
Equivalent factor of forest	$1.35 [gha/ha]$
Consumed EF	$1.42 \times 10^4 [gha]$

y:year

Table 5 Total  $CO_2$  emission and EF for the reclamation

Necessary volume of sand for reclamation	$2.80 \times 10^7 [m^3]$
Specific gravity of the sand	$2.79 [t/m^3]$
Total weight of the sand	$7.81 \times 10^7 [t]$
The unit $CO_2$ emission amount for quarrying and producing gravel	$5.41 \times 10^{-3} [tCO_2/t]$
Total $CO_2$ emission amount for quarrying and producing gravel	$4.23 \times 10^5 [tCO_2]$
The displacement by the truck	$3.00 \times 10^1 [km]$
The displacement by the cargo shipping	$2.00 \times 10^1 [km]$
Discharge of $CO_2$ by the truck	$4.21 \times 10^5 [tCO_2]$
Discharge of $CO_2$ by the cargo shipping	$6.30 \times 10^4 [tCO_2]$
Discharge of $CO_2$ by the transportation	$4.84 \times 10^5 [tCO_2]$
Amount of $CO_2$ absorbed in forest	$5.20 [tCO_2/ha/y]$
Equivalent factor of forest	$1.35 [gha/ha]$
Consumed EF by production of the sand	$1.10 \times 10^5 [gha]$
Consumed EF by transport of the sand	$1.26 \times 10^5 [gha]$
Consumed EF for the reclamation	$2.35 \times 10^5 [gha]$

y:year

### 3.2.2 埋め立て工法の場合

次に埋め立て工法の場合について、浮体工法と同様に EF を推定した。ここで、埋め立て工法においては殆ど全ての建設資材を山砂とし、国内（大半は千葉である<sup>8)</sup>）で採掘し採掘先からは陸路（大型車）30km、海路 20km で輸送されてくると仮定する。同面積の埋め立てに必要な山砂採掘およびその輸送などに伴う  $CO_2$  排出量および EF を Table 5 に示す。

これを見ると、この場合の埋め立て工法の山砂調達に係わる EF は  $2.35 \times 10^5 [gha]$  となることが分かる。また、Table 5 からその内訳を見ると、山砂の生産に要する EF は  $1.10 \times 10^5 [gha]$  で、その運搬に要する EF は  $1.26 \times 10^5 [gha]$  となり、生産と運搬による環境負荷はほぼ同程度であることが分かる。

### 3.2.3 浮体工法と埋め立て工法の EF の比較

ここでは、浮体工法と埋め立て工法の建設が与える環境負荷について EF を用いて比較を行う。平均水深 15m とした本研究での設定においては、浮体工法での建設による環境負荷は  $3.03 \times 10^5 [gha]$ 、埋め立て工法での建設による環境負荷は  $2.35 \times 10^5 [gha]$  と、埋め立て工法の方が環境負荷が小さいことがわかる。一方で、埋め立て工法で必要な土砂の体積は概ね水深に対して比例または比例以上であると考えられ、浮体工法に必要な鋼材量は水深にほとんどよらないと考えられる。そこで、埋め立て工法に必要な土砂による環境負荷は水深に比例して増加するものとし、浮体工法に必要な鋼材による環境負荷が水深によらず一定とした図を Fig.3 に示す。これを見ると、EF の観点から

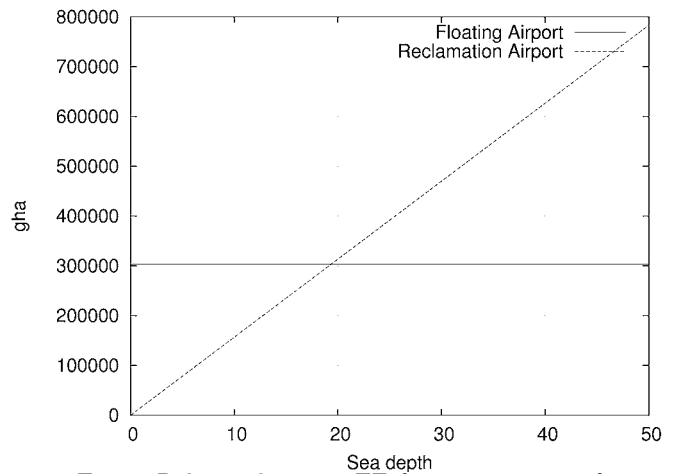


Fig. 3 Relation between EF for construction of an offshore airport and sea depth

すると両者が拮抗する水深は 20m 弱となり、水深 20 m 以深の海域を利用する際には浮体工法の方が環境負荷が小さいことが分かる。

### 3.2.4 海上空港建設による土地の利用形態に関する EF

既に示したように、EF は 5 つの土地カテゴリーに分けられる。滑走路を建設するという事は、当該海域の生産力が失われ、生産力阻害地が造られると考えて良い。したがって、滑走路建設に伴う EF は以下のようにして考えられる。簡単のため浮体の場合も埋め立ても同様に海上空港の面積が「生産力のある海域」から「生産力阻害地」となったと考えると、

$$\begin{aligned} \text{「海上空港建設によるの EF」} &= \text{「失われる海域の生産力」} \\ &+ \text{「作られた生産力阻害地の生物生産力」} \quad (1) \end{aligned}$$

となる。海上空港の面積は 135ha としているので、等価係数を考慮すると、Table 6 のようになる。これにより、海上空港建設に伴う土地形態の変化は、年間あたり  $3.33 \times 10^2 [gha/y]$  の環境負荷を与えていることが分かった。

### 3.2.5 海上空港建設による人間活動利用形態の変化による EF

一般に滑走路が増えることによって、航空機の便数が増え、移動に航空機を利用する人が増える。もちろん一個人の利用形態からすれば、鉄道利用から航空機利用へと変化している場合も考えられるが、その場合でも減った鉄道利用分は別の利用者が穴埋め

Table 6 EF of the runway

	value [unit]	note
The area of the runway of the offshore airport	135[ha]	
EF of the lost sea area by the runway	48.6[gha/y]	Productive sea area
Negative EF of the created artificial runway	$2.85 \times 10^2$ [gha/y]	Built-up area
EF of the runway	$3.33 \times 10^2$ [gha/y]	

y:year

Table 7 Comparisons of CO<sub>2</sub> emission of transportation per 1 person 1km displacement among various ways

Means of transportation	CO <sub>2</sub> emission [gCO <sub>2</sub> /km · p]
Car	173
Bus	51
Airplane	111
Rail way	19
Walking	0
Ship	-

することで一定以上の乗車率を維持するものと考えられる。つまり滑走路の開業に伴い別の手段・路線の整理縮小が無い限りは、社会全体の交通の収容力を増していると考えられる。特に本研究では羽田空港を対象としており、東京と地方を直接結ぶ交通需要は飽和していないと考え、滑走路の増加に伴う便数の増加は、単純に航空機利用者数の増加と見なすこととする。この航空機便数の増加により CO<sub>2</sub> 排出量が増加するが、この増加分に関して滑走路建設後の利用形態の EF として、「航空機を利用した移動による EF」を求める。具体的には航空機が 1 人を 1 km 運ぶ際の CO<sub>2</sub> 排出量と利用人数の増減の積により CO<sub>2</sub> 総排出量を推定し、その CO<sub>2</sub> 排出量を吸収するために必要な森林面積から EF を算出する。

滑走路の増加に伴う利用者の増減に関しては、国土交通省航空局<sup>9)</sup>の試算データによる発着増加便数に一便あたりの平均利用者数の積から求めるものとした。また、交通手段別の CO<sub>2</sub> 排出量<sup>7)</sup>を Table 7 に示す。

羽田の拡張工事において、D 滑走路がオープンすると、発着回数は現在の 29.6 万回/年から 40.7 万回/年に増加することが見込まれている<sup>9)</sup>。すなわち、概算で現滑走路が 3 本から 4 本に増えることで、発着回数もおおよそ 4/3 倍になると試算していることが分かる。そこで、利用者数の増減に関しては、現在の空港利用者がおおよそ 18 万人/日であることから、新滑走路の建設に伴う利用者は 6 万人/日の増加とした。また、2006 年において羽田空港を離発着する国内定期便は 1 日 390.5 便（隔日は 0.5 便とカウント）で総飛行距離は 45,385km となることから、1 便あたりの平均距離は 893km とした。

これらの推定より、滑走路を 1 本増設することにより増加する航空便の CO<sub>2</sub> 排出増加に伴う EF の増加を Table 8 に示す。この結果から滑走路の増加に伴う航空機便の増加がもたらす環境負荷に関する EF は  $5.64 \times 10^5$  [gha/year] と求められた。

3.2.6 海上空港建設に伴う総合的な EF

これまでで得られた EF をまとめると、施設の建設時に排出される CO<sub>2</sub> による EF と、施設の利用・維持に伴う年間あたり

Table 8 EF with increase on airplane flights

CO <sub>2</sub> emission by airplane	111[gCO <sub>2</sub> /km · p]
Average distance per 1 flight	893[km]
Average CO <sub>2</sub> emission by a airplane	$9.91 \times 10^{-2}$ [tCO <sub>2</sub> /p]
The promising passenger number of people increased by D runway construction	60000[p/d]
Increased CO <sub>2</sub> emission with increase on the airplane flights	$2.17 \times 10^6$ [tCO <sub>2</sub> /y]
Amount of CO <sub>2</sub> absorbed in forest	5.2[tCO <sub>2</sub> /ha/y]
Equivalent factor of forest	1.35[gha/ha]
EF with increase on the airplane flights	$5.64 \times 10^5$ [gha/y]

p:person, d:day, y:year, h:hour

の EF とに分類することができ、海上空港の建設に伴う EF は Fig.4 のようになる。ここで、y 切片が空港建設時に排出される CO<sub>2</sub> による初期環境負荷 [gha] で、グラフの傾斜が利用・維持に伴う年間あたりの環境負荷を表している。

Fig.4 を見る限りグラフは右肩上がりであり、EF に基づいた評価では空港施設のようにその施設自身が CO<sub>2</sub> を直接的に回収する機構を持ち合わせていない施設は、建設時に環境負荷をかけるだけでなく、年々の利用・維持においても環境負荷がかかるだけの施設という評価になる。また、環境負荷の年間増大（の傾き）の殆ど（99.9%）は飛行機の増便に伴う CO<sub>2</sub> 排出量の増加で、建設に要する初期環境負荷より、利用による年間の環境負荷の方が大きいことが分かる。したがって、浮体式と埋め立て式の両者の EF の積算量のグラフはほとんど重なっていることが分かる。いずれにしても、EF による評価では海上空港の建設は埋め

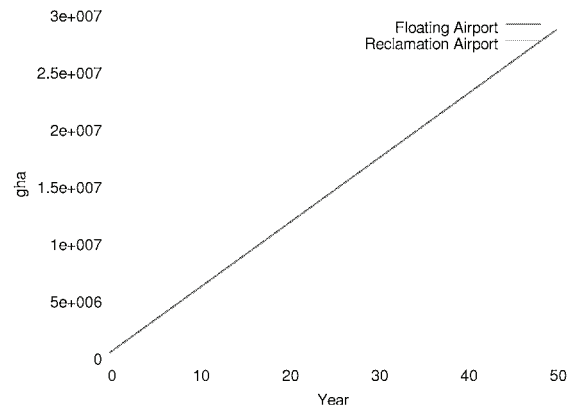


Fig. 4 Change of [gha] by construction of an offshore airport

立て工法にせよ浮体式にせよ持続不可能な開発であると判断することになる。

4. 海上空港の建設に伴う社会的コストの増減

前節において海上空港の建設に伴う EF を求めたが、海上空港の価値を単に環境負荷の増減だけで判断することは適切とは言え



Table 9 HR (Human risk) with accident at the off-shore airport

Number of passengers at Haneda Airport per day	180000[p/d]
The promising number of passengers at a runway per day	60000[p/d]
Average staying time at the Airport	1.5[h/p]
The total number of passenger × time per day and the runway	90000[p · h/d]
The total number of passenger × time per year and the runway	3.29 × 10 <sup>7</sup> [p · h/y]
FAR of offshore structure	0.23[p/10 <sup>8</sup> h · p]
Expectation value of number of dead in the airport per year and the runway	7.56 × 10 <sup>-2</sup> [p/y]
Dead insured amount per Japanese	0.127 [10 <sup>8</sup> Yen/p]
HR of dead in the airport	9.57 × 10 <sup>-3</sup> [10 <sup>8</sup> Yen/y]

p:person, d:day, y:year, h:hour

ない。そこで、この節では海上空港の建設に伴う社会的なコストについて検討を行う。

#### 4.1 ヒューマンリスク (HR) の算出

ここでは、海上空港の建設に伴うヒューマンリスク (HR) の増減について考える。そこで、本研究においては HR として以下の2項目について算出した。

1. 滑走路内での事故
2. 海上空港の建設に伴って増える航空機による事故

また、本研究においては

$$HR = \text{「ハザードの大きさ」} \times \text{「エンドポイントの発生確率」} \quad (2)$$

により計算を行い、日本人一人あたりの死亡保険金の平均額を「ハザードの大きさ」とすることで、HR は金銭の単位に換算されたものを意味するものとする。また、「エンドポイントの発生確率」は以下のように求めた。

##### 4.1.1 海上空港内での事故

海上空港施設内での死亡率には、海洋構造物の目標安全性<sup>5)</sup>としている FAR (Fatal Accidental Rate)=0.23 を用いた。FAR は暴露億時間×人あたり死亡確率である。したがって、海上空港の1日あたりの旅客数から、滑走路あたりの年間利用人数および平均滞在時間から、空港施設での年間あたりの死亡人数を推定し、日本人の平均死亡保険金額から HR を求めた。Table 9 にその結果をまとめる。これをみると、空港内での死亡リスクに伴うコストは 0.0096 億円/年 (= 95.7 万円/年) と求められる。

##### 4.1.2 航空機の飛行便数増加に伴って増える航空機による事故

次に、海上空港建設に伴い増加するであろう航空機事故による HR を求める。死亡確率としては、民間航空機の FAR を用いた。航空機の死亡確率についても、施設内の死亡率と同様の手順で求める。Table 10 にその結果を示す。

これによると、年間の海上空港建設に伴う航空機事故による死亡リスク上昇に伴うコストは 1.93 億円/年となることが分かる。

Table 9 および 10 の結果を比較すると、HR の上昇分はほとんど航空機事故の遭遇率の上昇分であることが分かる。

Table 10 HR of an airplane accident

Number of visitor at Haneda airport per day	1.8 × 10 <sup>5</sup> [p/d]
Number of visitor at Haneda airport per day and runway	6.0 × 10 <sup>4</sup> [p/d]
Average staying time at airport	1.5[h]
Total staying time · visitor per year	3.29 × 10 <sup>7</sup> [p · h/y]
FAR for an airplane	46.3[p/10 <sup>8</sup> h · p]
The number of expectations of the aircraft crash dead per the year	15.2 [p/y]
Average dead insured amount per Japanese	1.27 × 10 <sup>7</sup> [Yen/p]
HR of the airplane	1.93[10 <sup>8</sup> Yen/y]

p:person, d:day, y:year, h:hour

#### 4.2 経済的利益の算出

既に触れたように、羽田の拡張工事において D 滑走路がオープンすると、発着回数は現在の 29.6 万回/年から 40.7 万回/年に増加することが見込まれている<sup>9)</sup>。航空機の便数が増えると、利用者の利便性が高まる。利便性が高まるということは、その空間の社会的価値が上がるということである。そこで本研究では、「海上空港を建設するため必要な経費 (コスト:C) (マイナス分)」と「浮体式海上空港滑走路を建設することによって人間が得る利益 (ベネフィット:B)」を求め、それらを合算したものを経済的利益 (B-C) とする。したがってここでいう経済的利益とは、リスクの場合と同様に、何もない状態 (建設しなかった場合) に対する経済的価値の増減量である。

##### 4.2.1 浮体式空港の建設・運用 (維持) コスト:C

羽田空港 D 滑走路事業費 6,900 億円が入札が為されたが、浮体工法の場合は工期 2.5 年、工費 5,897 億円といわれている。そこで、本研究での海上空港の建設費は浮体工法でも埋め立て工法でも 6,000 億円とした。この総事業費から海上空港の運用に必要な金額を推定する。現在、空港や橋梁を建設する場合、基本的にその事業費は国などから借り入れることになる。日本道路公団の調査によると、

1. 事業費などの借り入れについての年利率は約 3.44% である。
2. 収入が約 2 兆 3000 億円に対し、維持管理費などが約 3000 億円で経費の約 13% を占める。
3. 残りの 87% は主に利息支払い、借入金の返済などに充てられる。

これらを参考に、空港について一年間に必要な経費 a を算出する。ここで、次のような複利の計算式を得る。

$$\begin{aligned} & (((M(1+r) - 0.87a) \cdot (1+r) - 0.87a)) \\ & \cdot ((1+r) - 0.87a) \cdots = 0 \\ \Leftrightarrow & M(1+r)^Z - \sum_{k=0}^{Z-1} 0.87a(1+r)^k = 0 \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、M は総事業費、r は年利率、Z は返済期間 (年) である。

本研究では総事業費は全額借り入れとし、前述の道路公団の例を参考にその借入金の年利率 r を約 3.44%、また一年間にかかる維持管理などの費用を総経費の内 13% と設定し、年間総経

費から維持管理費などを差し引いた 87%を借金返済に充当する。また、返済期間については、海上空港滑走路の耐用年数を 100 年とし、借り入れた事業費を耐用年数 100 年かけてちょうど返済し終わると仮定し、 $Z=100$  とする。羽田空港 D 滑走路建設の総事業費は  $M = 6,000$  億円とし、海上空港について一年間に必要な経費  $a$  (借金の返済額) は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{Mr(1+r)^Z}{0.87\{(1+r)^Z - 1\}} \\
 &= \frac{6 \times 10^{11} \times 0.0344 \times 1.0344^{100}}{0.87 \times \{1.0344^Z - 1\}} \\
 &= 245,58,492,239 \approx 246 \text{ 億円} \quad (4)
 \end{aligned}$$

従って、海上空港を建設することによって一年間に必要な経費は約 246 億円となる。

4.2.2 海上空港建設におけるベネフィット:B

現在、国内空港の運営は主に国土交通省の管轄であるが、その収支バランスは空港整備特別会計として公表されている<sup>9)</sup>。その国内空港の歳入状況を Fig.5に示す。

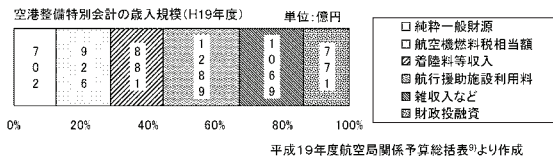


Fig. 5 The revenue of the airport improvement special account in 2007<sup>9)</sup>

これを空港整備特別会計の歳入のうち、純粋一般財源と航空機燃料税相当額がいわゆる税金の一般会計からの受け入れ分で、着陸料等収入、航行援助施設利用料と雑収入が空港利用者からの収入で空港整備自己財源と呼ばれる。本研究では、この空港整備自己財源分が直接的な利用者負担と考え、羽田空港の滑走路一本の拡張に伴う利用者負担の増加分を、滑走路一本分の社会的なベネフィットと考えることとする。利用者負担の増加分を社会的なベネフィットと考えるのは、利用者が施設を利用するにあたりその負担を受容したと判断するためである。

そこで、羽田空港の滑走路一本増加に伴う空港利用者から収入の推定を行う。平成 19 年度現在、国内の空港毎の収入は公表されていないが、Fig.5から国内空港の空港整備自己財源の合算分は 3,239 億円あることが分かる。そこで、この収入が利用者数に比例するものと仮定する。平成 19 年の国内空港の利用者総数は 25,187 万人、羽田空港の利用者数は 6,682 万人<sup>9)</sup>であることから、羽田空港滑走路 1 本あたりの利用者数は 2,227 万人と推定され、この人数比で収入を案分すると羽田空港での滑走路 1 本あたりの収入は

$$3,239 \times 10^8 [\text{yen}] \times \frac{22.27(\text{mil.})}{251.87(\text{mil.})} = 286 \times 10^8 [\text{yen}] \quad (5)$$

から 286 億円と推定できる。そこで、羽田空港 D 滑走路を建設することによって年間約 286 億円の収入増加が見込めると考える。

4.2.3 経済的利益 (B-C) の算出

海上空港の耐用年数 100 年としたときの、経済的な利益 (B-C) を算出した。経済的利益 (B-C) の算出結果を Table 11に

Table 11 Annual cost of the runway

Total operating costs	6000 [10 <sup>8</sup> Yen]
Offshore airport construction and maintenance cost (C)	246 [10 <sup>8</sup> Yen/y]
The income per one runway at Haneda Airport (B)	286 [10 <sup>8</sup> Yen/y]
Total Economical benefit (B-C)	40 [10 <sup>8</sup> Yen/y]

y:year

示す。

これらの結果より、滑走路一本を建設したことによる経済的利益は約 40 億円/年と求められる。

5. 海上空港の建設に関する包括的環境影響評価指標

これまで示したように、海上空港の建設などの海洋空間利用に際しては、環境面からの視点としての環境負荷のみや経済面からの視点としての利益だけでは、一方的な評価になりがちである。そこで、環境と経済の両面を包括的に評価する必要がある。

5.1 トリプルアイ (III) とは

本研究で用いる指標 III (Inclusive Impact Index, Triple-I) は、2006 年に日本船舶海洋工学会 IMPACT 研究委員会によってその枠組みが提案された新しい環境影響評価指標<sup>10)11)</sup>である。III は次のように表現される。

$$III_p = (EF_p + \alpha ER_p) + \frac{\sum EF_{Region}}{\sum GDP_{Region}} (HR_p + C_p - B_p) \quad (6)$$

ここで、EF はエコロジカル・フットプリント (Ecological Footprint), ER は生態リスク (Ecological Risk), HR はコスト換算された人間リスク (Human Risk), C はコスト, B はベネフィットを表し、 $\alpha$  は ER を土地面積に換算する係数、添え字の  $p$  は当該プロジェクトを意味している。また、EF での評価法に倣い、評価値  $III_p$  が少ないほど環境負荷が小さく、持続性の検討にあたっては負である方が望ましいとの考え方から、経済的利益に関しては利益が上がる場合に負値をとるように、C-B として評価している。算出された  $III_p$  は、当該プロジェクトを実施した場合と実施しなかった場合の差である「相対 III」を示している<sup>12)</sup>。この指標を用いることで、環境と経済を包括的に評価することが可能となる。

本研究においては、羽田での海上空港建設というプロジェクトについて相対 III を評価するものとし、最終的な評価値が負になれば総合的に持続可能な開発と判断するものとする。また、本研究で検討しているプロジェクトが海上空港の建設の一つであるから、以下に於いて添え字の  $p$  は省略する。

5.2 トリプルアイ (III) の算出

これまでに得られた EF, HR, C-B の値を代入して III を求める。ここで、 $\sum EF_{Region} / \sum GDP_{Region}$  については、本研究では国内の開発プロジェクトを扱うため、日本の EF と日本の GDP を用いた。2006 年での値では  $\sum EF_{Region} / \sum GDP_{Region} = 1.61 \times 10^{-6} [\text{gha/Yen}]$  であった。また、本研究においては ER は考慮しないこととする。その内訳を Table 12 に示す。

また III に関して、Table 12 の結果の中で年間収支に関する項目を Table 13 に示す。ここで、 $\Delta$  は年間収支を示している。

Table 12 Estimation of III

EF for construction of floating airport	$3.03 \times 10^5$ [gha]
EF for construction of reclamation airport	$2.35 \times 10^5$ [gha]
Lost of EF of productive sea area by installing the offshore airport	$3.33 \times 10^2$ [gha/y]
EF of built-up area at the offshore airport	$5.64 \times 10^5$ [gha/y]
HR	$1.94$ [ $10^8$ Yen/y]
C-B	$-40.8$ [ $10^8$ Yen/y]
HR+C-B	$-38.9$ [ $10^8$ Yen/y]
$EF_{Japan}$	$7.47 \times 10^8$ [gha]
$GDP_{Japan}$	$4.65 \times 10^6$ [ $10^8$ Yen]
$EF_{Japan}/GDP_{Japan}$	$1.61 \times 10^{-6}$ [gha/y]
$EF_{perperson,Japanese}$	$5.94$ [gha/p]
$Population_{Japan}$	$1.257 \times 10^8$ [p]
$\frac{EF_{Japan}}{GDP_{Japan}}(HR + C - B)$	$-6.26 \times 10^3$ [gha/y]
$\Delta III$ (Case 1) include $CO_2$ emission by airplanes	$5.58 \times 10^5$ [gha/y]
$\Delta III$ (Case 2) without $CO_2$ emission by airplanes	$-5.93 \times 10^3$ [gha/y]

p:person, y:year

Table 13 Itemizing comparisons of  $\Delta III$ 

	Include $CO_2$ emission by airplanes (Case 1)	Without $CO_2$ emission by airplanes (Case 2)
$\Delta EF$ [gha/y]	$5.64 \times 10^5$	$3.33 \times 10^2$
$\Delta ER$ [gha/y]	-	-
$\Delta HR$ [gha/y]	$3.11 \times 10^2$	$3.11 \times 10^2$
$\Delta (C-B)$ [gha/y]	$-6.57 \times 10^3$	$-6.57 \times 10^3$
$\Delta III$ [gha/y]	$5.58 \times 10^5$	$-5.93 \times 10^3$

これを見ると、航空機からの  $CO_2$  の排出量増量に係わる環境負荷の EF [gha] が他の要素に比べて 2~3 桁大きく、全体の結果を大きく左右していることが分かる。すなわち、航空機からの  $CO_2$  排出量増加分を海上空港建設に伴う  $CO_2$  排出量として考慮した Case 1 の場合、 $\Delta III$  の値は大きくプラスになり、この評価では海上空港の建設は持続不可能な開発であると判断されることになる。つまり、航空機を飛ばすことので環境負荷があまりに大きく、このままでは全く持続可能性が成り立たないと判断できる。

そこで、航空機の  $CO_2$  排出による EF の増加分については、誰かあるいは何かが経済的に別途負担することを考える。航空機からの  $CO_2$  排出分の gha について金額に換算すると

$$5.64 \times 10^5 \text{ [gha/y]} \times \frac{\sum GDP_{region}}{\sum EF_{region}} = 3,507 \times 10^8 \text{ [Yen/y]} \quad (7)$$

となる。例えば、この金額を年間の利用者人数で割れば利用者一人あたりの負担額を算出することが出来る。すなわち、国内空港全ての利用者がこの金額を均等に負担するとすれば、この金額を現状の利用者総数 25,187 万人に羽田滑走路一本増加による利用者人数増の見込み 2,227 万人を足した人数で除することとなり、

1,280 円/人の負担額が算出され、例えば現状の航空運賃や空港使用料に一律でこの金額を上乗せすることになる。あるいは税金で負担することを考えるのであれば、国民一人あたり 3,100 円/年の負担をすることになる。

いずれにしても、これらの負担が大きいとして社会が受容できない場合には、海上空港を持続可能な施設として活用するには高い施設と判断されたことになる。

一方、上記の負担を社会が受容したものとし、航空機からの  $CO_2$  排出量増加分を分離した滑走路利用の III の収支を考えた場合を Case 2 とする。Table 13 の Case 2 の場合をみると、経済的利益が環境負荷の成分を上回り、トータルの  $\Delta III$  ではマイナスに転じ、年間収支としては包括的環境負荷を減らす効果のある開発であると判断することが出来る。

この持続可能な開発として判断出来る見込みのある Case 2 の場合についての滑走路建設に伴う建設後の III は

$$III = \text{建設時の包括的環境負荷分の } III + \Delta III \times \text{Year} \quad (8)$$

となる。本研究での建設時の包括的環境負荷分の III は建設に伴う EF に相当する。その変化を Fig.6 に示す。Fig.6 で Y 切片が

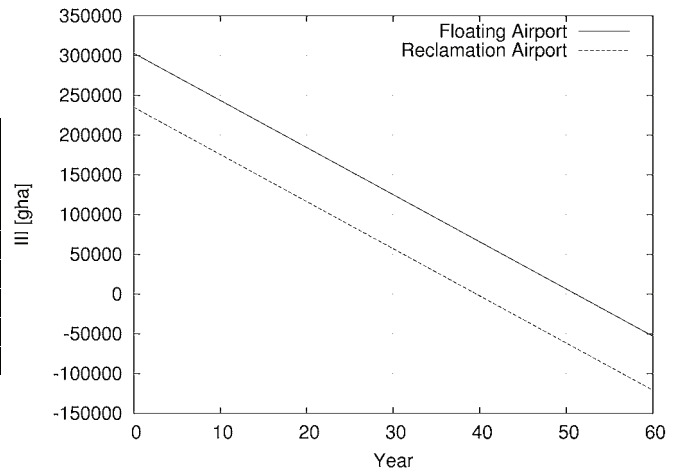


Fig. 6 Change of Triple I (III) for the construction of the offshore airport in Case 2

空港を建設時に与える包括的環境負荷分の III を、グラフの傾きが滑走路が増設されたことによる III の年間収支  $\Delta III$  を表している。

これを見ると、浮体式の場合で建設後 51 年後頃から、埋め立て工法の場合で 40 年後頃から III がマイナスに転じていることが分かる。このことは海上空港の建設が、海上空港の建設後の利用形態により年間に回収可能な包括的環境負荷分の 40~50 倍の生物生産量を地球環境から前借りすることで成り立っていることを示している。この場合は、建設時に与えた包括的環境負荷を約 40~50 年かけて回復し、その後はトータルとして包括的環境負荷を減らす働きが出来るので持続可能な開発と判断することが出来る。言い換えれば

$$\text{建設時の環境負荷分の } III < -\Delta III \times \text{耐用年数} \quad (9)$$

が成り立っていれば、持続可能な開発であると判断できることになる。したがって、耐用年数が 20~30 年とすると、年毎には包



括的環境負荷を削減する効果はあるが、建設時に与えた括的環境負荷を耐用年数内で回収するに至らない施設であることになり、持続不可能な開発と判断することになる。

ところで、上記の値の導出のうち海洋空間の利用形態の変化(生物生産力のある海域→滑走路:生産力阻害地)について対象とする面積に滑走路の面積を用いた。しかし、こうした大規模施設の洋上への建設は周辺海域の環境に少なからぬ影響があると考えられる<sup>13)</sup>。そこで、本研究で得た $\Delta III = -5.93 \times 10^3 [gha/y]$ を用い、滑走路建設に伴う周辺海域への環境がおよぶ許容面積について検討を行った。

ある海域が「生物生産力のある海域」から「生物生産力の全く無い海域」になったとすれば、1haあたりのEFの変動分はTable 2より $0.36 [gha/ha]$ となる。現状で算出された $\Delta III = -5.93 \times 10^3 [gha/y]$ を $0.36 [gha/ha]$ で割ると、約 $-16,500ha$ を得る。これは、海上空港の建設が括的環境影響評価の観点からは、 $16,500ha$ の生物生産力のある海域を創出したものと同じ効果があると考えられるが、逆に、本研究では考慮していない滑走路周辺に広がる約 $16,500ha$ 以上の海域が、滑走路の建設に伴い「生物生産力のある海域」から「生物生産力の全く無い海域」に転じた場合には $\Delta III$ が正となり、年間運用面でも括的環境負荷がかかっている開発と判断され、持続的な開発と判断される可能性が無くなることも意味する。ちなみに $16,500ha$ は東京湾の17.6%、海上空港面積の120倍の面積に相当する。

また、 $16,500ha$ に至らずとも開発の影響で生産性を失ったとされる周辺海域面積が広くなれば $\Delta III$ がその分だけ0に近づくことになり、結果として建設時に与えた括的環境負荷の回収に時間がかかり、持続可能な開発では無くなると判断される可能性があることを意味している。今後、本研究では考慮されていない海洋生態系のER(エコロジカルリスク)等について論じる場合には、上記の観点を踏まえて生態系の調査・評価対象とする海域面積などを検討することが出来るものと考えられる。

## 6. 結論

本研究では羽田空港の拡張をモデルとして海上空港の建設に関してIIIの指標に基づき括的環境影響評価を行った。その結果、以下の知見を得た。

- IIIの観点から、海上空港(滑走路)の建設に伴う環境負荷について埋め立て工法と浮体工法を比較すると、水深20mより深い海域では浮体工法の方が環境負荷が小さいことが分かった。
- 滑走路の建設に伴うIIIの年間収支 $\Delta III$ による評価では、空港規模の拡大に伴う航空機増便による $CO_2$ 排出量の増加影響が桁違いに大きく、この $CO_2$ 排出量増加分について何らかの負担をしない限り海上空港の建設は持続不可能な開発と判断せざるを得ない。
- 算出したIIIのその他の内訳の中では、経済面から見た利益(B-C)に相当する成分が大きく、当該海域の生物生産力の喪失分相当の成分に比べて約20倍となった。すなわち、航空機による $CO_2$ 排出分を除けば、本施設は建設に伴い失われる生物生産量を経済的な利益を創出することで大きくカバーしていることが分かる。
- 航空機による $CO_2$ 排出量を除いたIIIについて検討を行っ

たところ、IIIの年間収支 $\Delta III$ は負となり括的環境負荷を回収する可能性があることが分かった。一方で空港建設に用いたIIIは、 $\Delta III$ の約40~50年分に相当していることから、海上空港の建設は年間回収可能な括的環境負荷の約40~50年分を地球から前借りすることで成り立っており、耐用年数がその年数以上であれば、持続可能な開発であると理解できる。

本研究においては、IIIの各成分の算出過程で $\alpha$ 、HR算出時の「ハザードの大きさ」、あるいは本研究では考慮しなかったERの算出には極めて哲学的な要素も含む可能性があり、精度の課題がまだまだあると思われる。一方で、今後の海洋開発においては、技術面の可否だけでなく、こうした環境と経済とを一つの机に載せた是非の議論していくことが極めて重要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 航空連合 2007-2008 産業政策提言：国土交通省 2007 年度航空局関係予算概要, 2007
- 2) マティース・ワケナゲル, ウィリアム・リース：「エコロジカル・フットプリント」, 合同出版
- 3) WWF (World Wide Fund for Nature), Living Planet Report 2004, 2004
- 4) クリストファー・フレイヴィン編著：「地球白書」
- 5) 鈴木英之, 藤久保昌彦, 遠藤久芳：「大規模浮体施設の目標安全性」JCROSSAR 2007 講演論文集, 2007
- 6) 井村秀文編著：「建設のLCA」, オーム社, 2001
- 7) 国土交通省総合政策局環境・海洋課：運輸交通と環境 2007 年版, 2007
- 8) 東京国際空港 D 滑走路建設外工事：  
<http://www.haneda-d.jp/environmental/index.html>
- 9) 国土交通省航空局：平成 19 年度航空局関係予算概要  
<http://www.mlit.go.jp/koku>
- 10) 大塚耕司：「海洋の大規模利用に対する括的環境影響評価指標の一提案」Proc.Techno-Ocean 2006/19th 海洋工学シンポジウム (CD-ROM), 2006
- 11) 大塚耕司：「海洋利用の必要性と括的環境影響評価の試み IMPACT」第 1 回 IMPACT シンポジウム, 2007
- 12) 澤田高侑, 大塚耕司：「環境修復技術の括的環境影響評価 神戸空港人工海浜の事例」第 20 回海洋工学シンポジウム (CD-ROM), 2008
- 13) 日本海洋学会海洋環境問題委員会：「東京国際空港再拡張事業の環境影響評価のあり方に関する見解」, 海の研究 14(5), pp.601-606, 2005