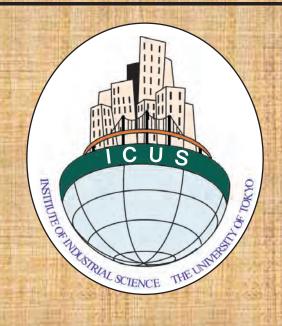
## **ICUS REPORT 2008-05**



東京大学生産技術研究所

都市基盤安全工学国際研究センター

# 第15回 ICUSオープンレクチャ

交通・物流拠点としての港湾・空港戦略 2008年10月6日(木)

> 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

ISBN4-903661-29-6 Serial Number 36

### 第 15 回 ICUS オープンレクチャ

交通・物流拠点としての港湾・空港戦略2008 年 10 月 6 日 (木)

難波 喬司, 横田 弘, 梅山 和成, 加藤 絵万

ICUS Report No. 36 2009 年 3 月

都市基盤安全工学国際研究センター

# Strategy for ports and airports as bases of traffic and physical distribution

6 October, 2008

By Takashi Nanba, Hiroshi Yokota, Kazushige Umeyama, Ema Kato

ICUS Repot No. 36, March 2009

#### 目次

1.	開会の挨拶(目黒 公郎)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 1
	「港湾を核とした物流システムの効率化を通じた環境負荷の軽減」(難波 喬司) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· 4
	「港湾・海岸におけるインフラマネジメント」(横田 弘)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	35 36 39
	「東京国際空港再拡張プロジェクト」(梅山 和成)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	71 72 76 81 90
5.	閉会の挨拶(横田 弘)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	97
付	禄:プログラム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	99

#### 1. 開会の挨拶

#### 目黒 公郎 (ICUS センター長/教授)

(司会) まず開会の挨拶といたしまして、目黒公郎 ICUS センター長よりご挨拶をさせていただきます.

(目黒) 皆さん,こんにちは.都市基盤安全工学国際研究センター (ICUS) のセンター 長をしております目黒です.今日は,ご多忙のところ,私どもの公開講演会「第 15 回 ICUS オープンレクチャー」にご参加いただき,誠にありがとうございます.本日の公開講演会 は「交通・物流拠点としての港湾・空港戦略」というタイトルで実施させていただきます.

ICUSでは、突発災害や事故が発生した場合の臨時報告会としてのオープンレクチャーを除きますと、年平均2回ぐらいのペースで今回のようなオープンレクチャーを開催させていただいています。このような会を継続して開催している理由は、私たちICUSが、安全な都市の実現のためには、なるべく正確な知識や実際の状況を多くの方々に知っていただくことが重要であると考えているからです。ところが、この正確な知識や状況の理解は実は簡単ではなく、一般の方はもちろんのこと、専門家においても分野が違うと、これがなかなか難しいのです。

私どもの研究センターICUS は、都市基盤の安全の問題をさまざまな角度から分析し、そのメカニズムを探り、最終的にはそれらの課題を解決する社会の実システムの実現を目的として設立されました。この目的を達成するにあたっては、異なる分野の専門家同士が、そして専門家と一般市民の皆さんが、相互に理解し合える言葉、通じ合える言葉を使って、情報交換し合うことがとても重要です。ICUS オープンレクチャーが、私どもの研究センターにとって非常に重要な活動である理由がここにあるのです。

今回は、ICUS で客員教授をしていただいている横田先生のご尽力で、「交通・物流拠点としての港湾・空港の戦略」という企画が実現しました。このような興味深い話題の公開講演会が実現できた背景には、横田先生の本務が独立行政法人港湾空港技術研究所であることも関係しています。今日はこの横田先生に加え、難波先生と梅山先生の3名の先生方のご講演を予定しており、いろいろな角度から港湾と空港の戦略についてのお話が伺えるのではないかと思っています。

最後に、 ICUS オープンレクチャーは講演会に参加するだけでは完結しません. 講演会

の後には、いつものように懇親会がついております. ICUS ではこの懇親会も非常に重要な活動として考えています. それは講演会を聞いて疑問に思ったことやご自分の意見をはじめとして、講演者の皆さんや参加者の皆さんと、ぜひ情報交換、意見交換していただきたいからです. 料理にたとえるなら、ICUS オープンレクチャーは懇親会まで参加して初めて完結するコース料理といえます. ぜひ懇親会までご参加くださいますようお願いします. それでは早速講演に移りたいと思います. 今日はよろしくお願いします (拍手).

# 2. 「港湾を核とした物流システムの効率化を通じた環境負荷の軽減」講師 難波 喬司 (国土交通省港湾局計画課長)

#### 【略歴】

1981年 名古屋大学大学院修了

1981年4月 運輸省採用

1987年3月 外務省 在パナマ日本国大使館

1990年4月 国際運輸・観光局 振興課 専門官

1991年8月 運輸政策局 国際業務第二課 補佐官

1994年4月 第四港湾建設局 熊本港工事事務所長

1996年4月 港湾局 計画課 補佐官

1998年4月 茨城県 土木部 港湾課長

2000年4月 茨城県 港湾振興監

2001年7月 国土交通省 港湾局 海岸・防災課 海岸企画官

2003年4月 国土交通省 港湾局 海岸・防災課 災害対策室長

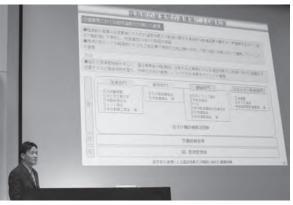
2004年4月 国土交通省 港湾局 管理課 港湾保安対策室長

2005年4月 関東地方整備局 港湾空港部長

2005年 名古屋大学博士(工学)

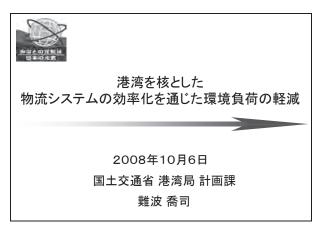
2008年1月 国土交通省 港湾局 計画課長 (現在に至る)





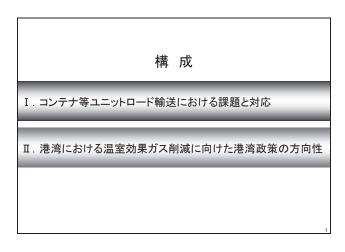
#### 2-1 紹介と概要

(司会) 最初のご講演は、難波喬司先生による「港湾を核とした物流システムの効率化を通じた環境負荷の軽減」です。難波先生は、昭和56年に運輸省に入省され、その後、国際運輸・観光局、運輸政策局、また茨城県庁、関東地方整備局港湾空港部長などを経た後に、平成20年1月から現在まで港湾局計画課長を務めておられます。それでは難波先生、よろしくお願いいたします。



図表 2-1 タイトル

(難波) 皆さん、こんにちは、ご紹介いただきました難波でございます。よろしくお願いいたします。それでは早速、港湾の問題、今日は「コンテナ等ユニットロード輸送における課題と対応」、もう一つは「港湾における温室効果ガス削減に向けた港湾政策の方向性」についてお話させていただきます。

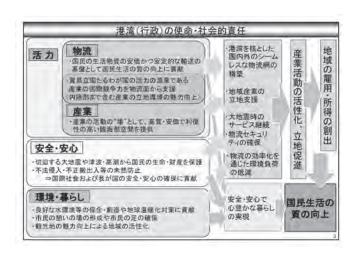


図表 2-2 構成

#### 2-2 コンテナ等ユニットロード輸送における課題と対応

#### 2-2-1 港湾(行政)の使命・社会的責任

まずコンテナの問題ですが、その前に港湾行政というのは何をやっているのかということを、ごく簡単にお話しさせていただきたいと思います(図表 <sup>2-3</sup>).「活力」「安全・安心」「環境・暮らし」と並んでいますが、港湾の場合は「物流」がやはり一番中心になります.



図表 2-3 港湾(行政)の使命・社会的責任

どういう輸送体系を作るか、それに対して港湾がどう貢献するかということです。もう一つは「産業」です。臨海工業地帯というのがありますが、全国でも港のすぐ近くに工場がたくさん立地しています。その産業空間をどう提供するか、そこでの活動環境をいかに向上させるかというのが大きな課題になります。「物流」の効率化、「産業」の立地環境の向上、この二つによって日本の活力をどう高めていくかということが港湾行政の大きな課題です。こういった産業活動の活性化・立地促進を通じて、地域の雇用・所得の創出、それが国民生活の質の向上につながるということになります。

産業活動の活性化においては、日本の場合、国内だけでは経済は回っていきませんので、いかに産業の国際競争力を高めるかということが大事です。そのために、物流機能をいかに確保するか、産業空間をいかに提供するかが大事です。「機能管理」と「空間管理」といっていますが、いかに機能をきっちり管理するか、あるいは空間を管理するか、この二つを連動させることが港湾行政の大きな課題になります。

もう一つは「安全・安心」です。港湾は臨海部にありますから、津波の影響を非常に受

けやすく、テロ、不法侵入といった不正なアクセスもある. これらにどう対処するかということが、「安全・安心」の大きな課題です.

それから「環境・暮らし」です。一番典型的なのは、例えば東京湾の水環境をどうするかということです。東京湾の中の、特に海岸線はほとんど港湾区域という行政範囲にあります。東京湾の中に川などからたくさんの環境負荷が出てきますから、それをどうするかということが大きな課題になります。

これらの様々な課題に適切に対処し「国民生活の質の向上」に貢献することが港湾行政の使命です.

#### 2-2-2 コンテナの現況と課題

さて、今日はコンテナ、それからユニットロード、フェリーに積むような貨物と思って いただければいいのですが、それについて、まずお話しさせていただきます。

ただ、コンテナといってもイメージがなかなかわきにくいと思います. 図表 <sup>2-4</sup> が世界最大のコンテナ船です. 全長が 400m, 横浜のランドマークタワーが 300m ですから、それよりまだ 100m 長い. 船の幅が 56m, トン数が 16 万トン、なかなかイメージがわかないと思いますが、横浜のランドマークタワーを 1.3 倍ぐらいにしたものが海に浮かんでいると思っていただければいいと思います.

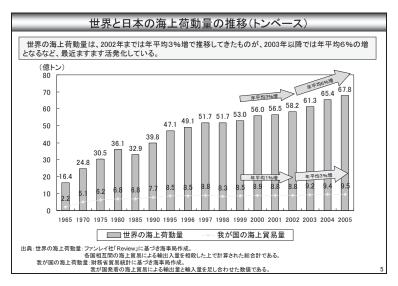


図表 2-4 世界最大のコンテナ船

コンテナの場合, TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) という単位を使うのですが, 20

フィートに換算して、コンテナの個数を数えます. 通常のコンテナは長さが 40 フィートですので、その場合は 2TEU と数えることになります. この船の場合 1 万 1000 個 (TEU) 積めるということです. 実際には 1 万 5000 個ぐらい積めるのではないかといわれています. こんな巨大な船が走っています.

それから、世界の海上貨物量について見ていただきたいのですが(図表  $^{2-5}$ )、年間 67.8 億トンです。ですから、世界の人口から考えて、一人当たり年間 1 トンぐらい荷物が動いていると見ていただければいいと思います。それに対して、日本の場合は 9.5 億トンになっていますから、一人頭 8 トンぐらい動かしていることになります。それで日本の生活が維持できるということです。先ほどの 1 トンと 8 トン、それは資源のあるなしということもありますが、やはり生活が豊かになってくると、動かす貨物量が増えてくるということになります。

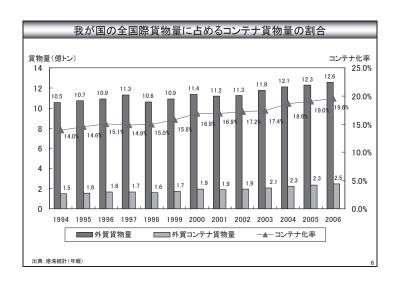


図表 2-5 世界の海上荷動量の推移

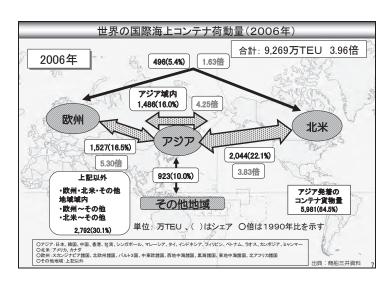
従って、貨物が年々増えてきていますが、これは人口が増えたという面ももちろんありますが、それと同時に世界の国々、例えばお隣の中国などは大変豊かになってきたので、荷動量もものすごく増えてきました。環境という面を一つのテーマにすると、経済成長すると環境負荷が、例えば煙突からの煙といった面で相当出てきますが、こういった物流面でも同じことが起きます。豊かになればなるほど、たくさんの物を動かしていくので、より環境問題が深刻になってくるということがあります。

図表 2-5 と図表 2-6 では貨物量が合わないところがありますが、貨物のトン数の数え方が

少し違うので、その辺は無視してください。日本の場合貨物の荷動きはあまり伸びていないと思われがちですが、そこそこ伸びてきています(図表 <sup>2-6</sup>)。コンテナについては、外質コンテナ貨物量は毎年着実に伸びてきています。



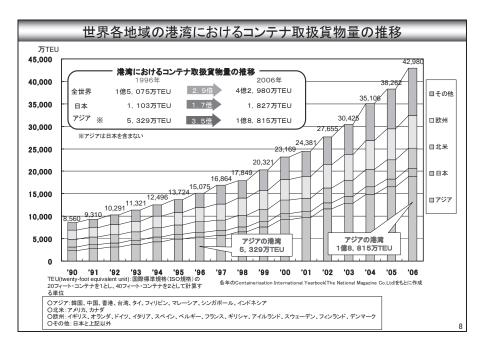
図表 2-6 わが国の全国際貨物量に占めるコンテナ貨物量の割合



図表 2-7 世界の国際海上コンテナ荷動量(2006年)

次に世界のコンテナの荷動量についてです(図表  $^{2-7}$ ). 2006年の荷動量が 1990年比で どのくらい変わってきたかというと、アジアを中心に非常に大きく伸びています。例えば 北米とは 3.83 倍、欧州とは 5.3 倍、域内が 4.25 倍になります。これに対して先進国同士、 北米と欧州を見ていただくと 1.63 倍ですから、これはあまり伸びていません。結局アジア

を中心に経済活動がものすごく活発になってきているので,荷動量も16年間で3.96倍と, ものすごく大きな伸びになっています.年間9269万TEUですから,大体1億TEUが世界で 動いていることになります.



図表 2-8 世界のコンテナの荷動量

さらにそれが地域ごとにどうなっているかというと(図表  $^{2-8}$ ),アジアについては急速に伸びています.図表  $^{2-8}$  は正確にいうと,貨物量の動きではなく,港におけるコンテナの取扱量ですので,例えば一つの港から別の港に行くと,貨物量は 1 でもコンテナの取扱量は 2 個になりますから,そういう面で先ほど(図表  $^{2-7}$ )よりは個数が多くなります.2006年には,4 億個ぐらいが港で取り扱われています.1996年と 2006年を比較すると,アジアは 3.5 倍と急速に伸びていますが,残念ながら日本は 1.7 倍です.それでも,日本では 300日はこの 30年間ほとんど伸びていないのですが,貨物だけは 30月になっています.

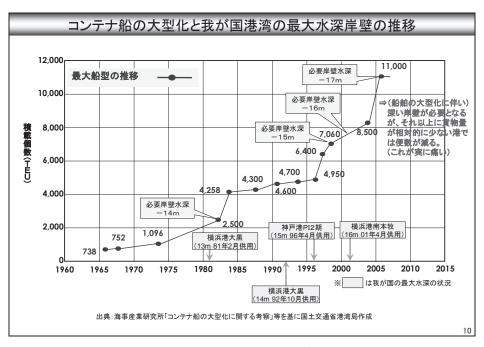


図表 2-9 東京港・横浜港・川崎港のコンテナ取扱個数

今のようなことを反映して、世界の港の取り扱いの順位を見ると(図表  $^{2-9}$ )、1980 年ランクでいうと神戸は 4 位です。今はどこにくるかというと、38 位になります。また、シンガポールが急速に伸びて、6 位から 1 位になっています。香港は 3 位から 2 位になっています。貨物量を見ていただくと約 15 倍になっています。神戸については 1.5 倍程度にしか変わってきていません。従って、順位が落ちるということになります。

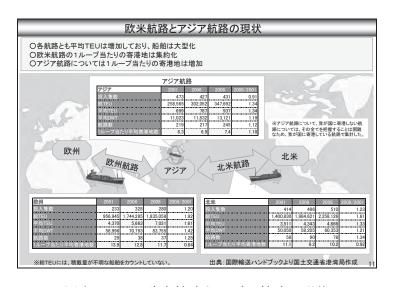
コンテナについて日本で今一番大きな港は東京港ですが、東京港ですら 23 位です. コンテナ貨物の場合はスケールメリットの勝負になりますから、もう東京だとか、横浜だとか言っていないで、東京と横浜を合わせると世界で 13 位相当になりますから、これで勝負するということです. 従って、東京湾をもう一体の港と考えて、国際的な船会社の戦略の中で、いかに日本の港を使っていただけるかが重要になります.

図表  $^{2-10}$  は船の大きさです.なぜこれが大事かというと,船が大きくなると水深が当然深くなってきますので,そうすると深い港が要ります.これは当たり前ですが,実はその問題よりも,貨物量が相対的に少ない港には船が寄ってくれなくなるという問題があります.これが実は一番大きな問題です.1980~1990 年あたりを見ていただくと,このあたりは船の大きさはほとんど変わっていません.ここの 4000 というのは先ほどの TEU で,4000 個積みの船です.1万 1000 というのは先ほどのマースクという船会社の大きな船です.1995年から急速に積載個数が多くなってきています.われわれも,これだけ船が大きくなるとは予想していませんでしたし,日本の船会社もこういうことは予想していませんでした.



図表 2-10 コンテナ船の大型化と我が国港湾の最大水深岸壁の推移

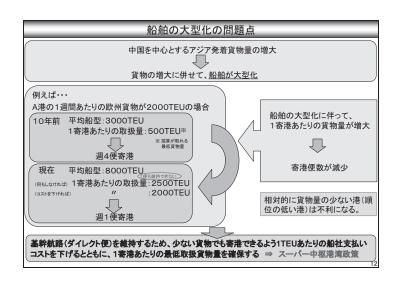
実際にどうなっているかというと,特に欧州航路で船が急速に大きくなって(図表 <sup>2-11</sup>), 2001 年は 4300 個積みくらいの船が平均だったのですが,今は 7000 個積みぐらいになっています. 大体,世界でみんな船が大きくなっています.



図表 2-11 欧米航路とアジア航路の現状

そうすると何が起きるかというと(図表 <sup>2-12</sup>),例えば横浜港で欧州向けに1週間に2000個の貨物があったとします。10年前は船がそれほど大きくなかったので,1回寄港したと

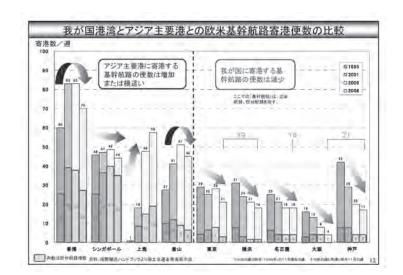
きの積み下ろしで 500 個ぐらいコンテナがあれば採算が合いました. 直感的にも分かっていただけると思いますが、大きな船に少ししか貨物を積まなかったら、採算が合わないので船が寄らないということになります. 現在は 8000 個積みぐらいになってくると、1 回の積み下ろしで 2500 個扱わないと採算が合わなくなります. そうすると、週 2000 個しかない貨物がない港には週に一回も船が寄ってくれないのです. 横浜港に寄っても採算が合わないから、寄らないということになります.



図表 2-12 船舶の大型化の問題点

従って港側がどうするかというと、一つは、貨物を増やすということですが、なかなか 貨物は増えません。従って、コストを下げるということが一番大きな戦略になります。今 のコストでは寄港しても船会社の採算が合わないのですが、港に船が入ったときのコスト を下げる、もっと安い値段で積み下ろしができるということをすると、2000 個の積み下ろ しでも採算があい船が入ってくれます。そうすると、週1便寄港という形になりますが、 これでやっと1便です。同じ貨物量で、今までは週4便寄港していたのに、今は1便しか 寄港してくれないのです。

図表  $^{2-13}$  は日本から欧州,日本から北米という,いわゆる基幹航路の実際のコンテナの 寄港便数ですが,上海だけは例外です.ほとんど取り扱いがなかった港がここ十数年で一気に伸びていますから,これは無視して,一番左の青のところが 1995 年,一番右が 2008 年になりますが,香港,シンガポール,釜山も,1 週間当たりの便数は横ばいです.貨物 量はその間に 4 倍にも 5 倍にもなっているのですが,便数が一緒ということは,船が大き



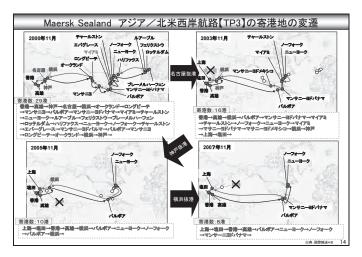
くなって、1回の積み下ろし量が増えているということになります.

図表 2-13 我が国港湾とアジア主要港との欧米基幹航路寄港便数の比較

日本の港の便数は、東京をはじめ、みんな減っています。一番問題なのは欧州航路で、東京が3便、横浜が1便しかありません。東京と横浜を合わせて週4便しかないということは、毎日欧州航路が出ていないということです。

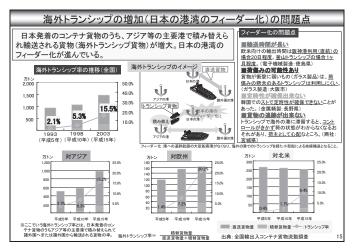
飛行機の場合、皆さん想像していただくと分かると思いますが、デイリーで欧州に飛行機が飛んでいないというのは、欧州に出張するときにこれぐらい不便なことはないと思います。貨物も同じで、今は荷主はすごく急いでいます。急いでいるのに毎日出ていない。しかも週4便とはいっても船会社が全部違います。例えば日本郵船という船会社を選ぶと、週1便しか出ていないという状況です。これがなくなると、もう欧州には直行便がないという状態になります。従って、シンガポールを経由していくとか、そうせざるを得なくなります。そうすると、非常に便利が悪くなるので、日本の産業の立地環境は非常に悪い、だから日本に立地しないで、どこか外国に立地した方がいいということになります。従って、便数の維持というのは産業政策上極めて大事です。

図表 <sup>2-14</sup> は時間がないので省略しますが,先ほどのマースクシーランド (Maersk Sealand) という世界で一番大きな船会社が,ある航路を持っているのですが,それがどうやって変遷してきたかということです。こうやって名古屋抜港だとか,どんどん日本の港が寄港地から抜かれていくことになります。



図表 2-14 アジア/北米西岸航路の寄港地の変遷

図表 <sup>2-15</sup> もごく簡単にしますが、フィーダー化の問題点です。先ほど言いましたように 直行便がなくなって、フィーダー、枝線化してしまうと、どんなデメリットがあるかということですが、いろいろな問題がたくさん出てきます。これがもう現実に起きているのです。



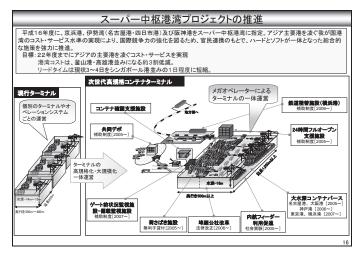
図表 2-15 海外トランシップの増加の問題点

例えば対欧州航路でいうと、トランシップ率が 20%です。トランシップというのは海外の港で積み替えるということです。本来直行で行くべきものが、海外の港でどのぐらい積み替えられているかということですが、対欧州ではもう 20%が積み替え便になってしまっています。それでもまだ直行便があるので、これでとどまっていますが、直行便が 0 になったら、トランシップ率が 100%になるということで、今はぎりぎりの状況にあります。

#### 2-2-3 スーパー中枢プロジェクトの推進と今後の充実

これらの対策として、国土交通省はスーパー中枢港湾プロジェクトを進めています.

図表 <sup>2-16</sup> はターミナルの大規模化です.小さなターミナルごとに運営するのではなく,もっと大きく運営して,スケールメリットを出すということです.これは,コストを3割削減して船に入ってきてもらおうという船会社への魅力向上の対策です.



図表 2-16 スーパー中枢港湾プロジェクトの推進

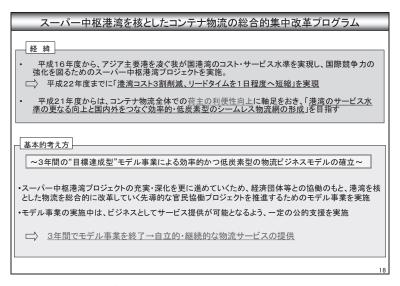
ただ、もうそれだけでは駄目ですので、今度は荷主へのサービスの高質化、すなわち荷主が東京港や横浜港を使いたいと思うサービスを提供できるかということが大事になります。そのためには港湾運営の広域化など、いろいろなことをやっていく必要があります(図表  $^{2-17}$ )。



図表 2-17 スーパー中枢港湾プロジェクトの充実・深化

これをご説明しているとかなり時間がかかるので、ごく簡単に説明させていただきますが、例えば新潟の荷主が北米に輸出したいときに、東京港に持っていって、東京港から直行便で出すか、新潟港に持っていって、そこから釜山港につないで、釜山から北米に持っていくか、こういう選択が起きています。東京港に貨物を集めて基幹航路を維持するためには、釜山港に持っていくのではなく、東京港を使った方がいいと、荷主が魅力を感じることをやっていかないといけない。そのためには徹底したサービスの高質化が大事になってきます。そういったことで、図表 2-17 のように、「船会社への魅力向上」だけではなく、今度は荷主が東京港を選びたくなるという「荷主への魅力向上」のための政策をやっていかないといけないということになります。

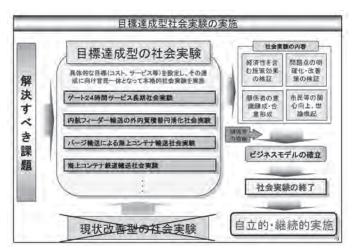
そこで,「コンテナ物流の総合的集中改革プログラム」をやろうとしています(図表 <sup>2-18</sup>). これは3年間の目標達成型のモデル事業によって,ビジネスモデルを確立しようというものです.



図表 2-18 スーパー中枢港湾を核としたコンテナ物流の総合的集中改革プログラム

荷主が日本の港を使わずに釜山を使うということが、既に実際に、特に近畿圏では非常に大きく起きています。例えば松山の荷主がより近い神戸港を使わないで、釜山港に持っていく。このため、松山から神戸に持っていくコストをもっと安くして、釜山に対抗していくわけですが、それを例えば現状改善型で、どこどこを改善して幾ら安くしました。でも釜山経由より少し高いですというのでは、荷主は神戸港経由を選んでくれません。

従って、まず、釜山に勝てるコストとサービス水準を設定して、それを実現するために どうしていったらいいのかということを今やろうとしています(図表 <sup>2-19</sup>). そのために、 新しいビジネスモデルが成り立つようにいろいろな公的支援をしていこうということです. ただ、永遠に公的支援をしていたら何にもなりませんから、3年間で公的支援を打ち切る のですが、その間にサービスの採算が合うようにしてもらおうといったことを今考えてい ます.



図表 2-19 目標達成型社会実験の実施

~3年間の"目標達成型"	"モデル事業による効率的かつ低炭素型	≝の物流⊦	ごジネス	モデルの	確立~	
施 策	具体的取組み	平成20 年度	21 年度	22 年度	23 年度	24 年度
①コンテナターミナルの24時間 オープンの実現に向けたモデル 事業	〇スーパー中枢港湾の主要ターミナルに おいて、適切なコスト負担のもとでの荷主 の需要に応じたモデル事業の実施 (神戸港等)	実施体制 構築 <b>協組金設置</b>	モデル	事業	実現	
②海外トランシップに対し競争力あ る内航フィーダーサービス等の実 現に向けたモデル事業	○内航フィーダー輸送網の強化 ・神戸港ー中・四国 等 ○パージ輸送網の強化 ・京浜港 - 千葉港 ・大阪港 - 神戸港	実施体制構築	モデル	事業	実	現
③スーパー中枢港湾から内陸に向けた鉄道サービスの充実に向けたモデル事業	○海上コンテナの鉄道輸送ルートの充実 ・京浜港ー内陸部	実施体制構築	モデル	事業	実	現
④空コンテナ輸送効率化のための インランドポート活用モデル事業	〇インランドポートの活用等による内陸部 におけるコンテナの新しい流通システム の確立	実施体制構築	モデル	事業	実	現
⑤物流業務の徹底効率化に向けた 情報化推進モデル事業	★港湾関連手続の簡素化・統一化 ★出入管理システムの構築	質易手続改革集中改革	EXHID	<b>及整備・順次多</b>	『現	<b>₽</b>
	○情報システム、電子タグ等の情報通信 技術(ICT)の活用による事業者業務の徹 底効率化及び手続の自動化	実施体制構築	モデル	事業	実	現

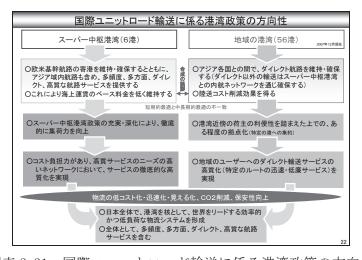
図表 2-20 コンテナ物流の総合的集中改革プログラム

こういった集中改革プログラムを 3 年間でやろうとしているのです。(図表  $^{2-20}$ ),もう一つの例でいうと,鉄道輸送ルートの充実というものがあります。例えば宇都宮の荷主が東京港に鉄道で持っていきたい。 $CO_2$ 削減のため,どうしても鉄道を使いたい,という声があります。仮に,1 日にコンテナが 20 本集まったら,ダイヤを設定しても JR 貨物の採算が合うとします。しかし,最初のうちはなかなかコンテナが集まってきません。物流の場合はシステムでやっていますから,なかなか「じゃあ明日からルートを変えます」というわけにはいかないのです。そうすると,例えばルートを全面的に変えてもらうために 1 年間

かかるとすると、その間にものすごい赤字を JR 貨物が食うわけです。そんなリスクのあるサービスを、JR 貨物はやってくれないわけです。そこで「では最初の1年間は、そのリスク分は公的に負担しましょう。その代わり、1年後に貨物が集まったら支援は打ち切ります」といったことをやろうとしています。

細かくいうとたくさんあるので、時間の関係で省略しますが、このあたりについては後でもう1回、今度は CO<sub>2</sub>削減の中で出てきます.

それから、もう一つ大事になってくるのは、先ほど東京・横浜など、大きな港の話をしていましたが、地域の港、例えば新潟港や秋田港など、そういうところからも貨物が出ています(図表 <sup>2-21</sup>). 地域の港にはすぐ背後に工業地帯があって、そこからたくさん貨物が出ています. 日本の場合、陸上輸送コストが非常に高いですから、陸上を走らずに最寄り港、一番近い港を経由したサービスを利用すると、非常にコストが下がるわけです. 従って、地域の最寄り港から出そうする一人一人の荷主の行動は合理的です。しかし皆がそうすると、ここで「合成の誤謬」が発生します. スーパー中枢港湾である東京港や横浜港の貨物量が減ってきます. そうすると、直行便がなくなるのです. 直行便がなくなるということは、実はものすごく大きな問題が出てきます.



図表 2-21 国際ユニットロード輸送に係る港湾政策の方向性

地域の荷主は、短期的な自分のことを考えると、最寄りの港から出すことが一番いい選択になります.一方、中長期的、全国的な視点に立ってくると、スーパー中枢港湾という大きな港に一定の貨物を集め期間航路を維持する一方、地域の港は地域の港で、ニッチな市場といいますか、狭い範囲の集荷圏の貨物を集め、そうして全体のバランスが取れて、

初めて全体の物流の効率性が保たれることになります.ところが,短期的には近くの港から出すと,コストが下がるので,どうしてもスーパー中枢港湾の貨物が減り弱っていくということが出てきます.

「合成の誤謬」の中で一番大きな問題は何かというと、基幹航路の直行便というのは、 船会社の運行コストが一番安いのです。なぜかというと、一番大きな船でたくさんの貨物 を運ぶからです。安いというのは、単位トン数、単位距離当たりのコストが非常に安いと いうことです。

これは航空などで考えていただいた方が実感がわくと思うのですが、例えば東京から福岡、東京から熊本に飛行機で行った場合を考えてください。距離はほとんど変わらないのですが、東京・福岡の方が運賃が安いです。東京・熊本便は、福岡を回って、そこからバスや汽車で行ってもちゃんとコストが合うように、福岡よりちょっと高めに設定されています。そういう競争・競合の中のバランスが取れているわけです。

それと同じことが起きています。例えば新潟のすぐ近くに荷主がいる場合,一つはすぐ 前の新潟港から出して,釜山に持っていって世界につなぐというやり方,もう一つは直行 便で東京から持っていくやり方で,新潟から東京への陸上輸送コストは確かにかかります が,東京からは世界中への直行便が出ています。

先ほど申しましたように、直行便の一番安い料金があるので、それに合わせて新潟・釜山のルートは海上運賃を安く設定します。それで直行便と競争できるわけですが、競争が起きるのはあくまで直行便があるからです。直行便の一番安い運賃があるから、新潟・釜山ルートも安い運賃を提供せざるを得ません。直行便がなくなったら安い運賃にする必要がなくなるので、新潟・釜山ルートの運賃上がることになります。

従って、近くの港を使ってコストを下げていたつもりが、実は競合していた東京経由の 基幹航路がなくなってしまったので、最終的には運賃をあげられても対抗できない、そう いう合成の誤謬が出てきます。これを防ぐために、短期的最適と中長期的最適の不一致を どう調和させるかということが非常に大事になってきます。そのためにいろいろな政策を やっていくことになります。

今までは北米や欧州の話ばかりしていましたが、やはり今注目されているのはロシア経由とか、釜山や上海にいかに直行便をつなぐかということが別にまた必要になってきています(図表 <sup>2-22</sup>). いろいろな施策が必要になってきますが、これも先ほどのスーパー中枢港湾の問題とぶつかりますので、どこまでやっていくかということが非常に大切になって

きます. この問題については、省略させていただきます.

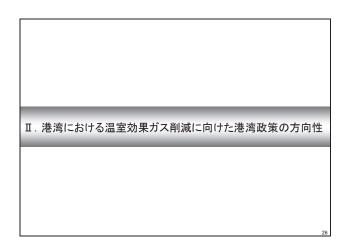


図表 2-22 日本海側の港における新たな物流の動き

#### 2-3 港湾における温室効果ガス削減に向けた港湾政策の方向性

2-3-1 CO2 排出量削減の必要性と現状

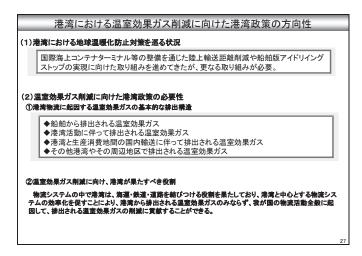
今日のもう一つのテーマは温暖化の問題です.



図表 2-23 タイトルⅡ

港湾から相当環境負荷を出しています(図表 <sup>2-24</sup>). 港湾の場合,大事なのは,港湾の中の環境負荷がどのくらいかという問題だけではなく,どの港を選ぶかによって環境負荷が違うという問題が出てきます. どういうルートを通るか. 例えば北海道から北米に行く直行

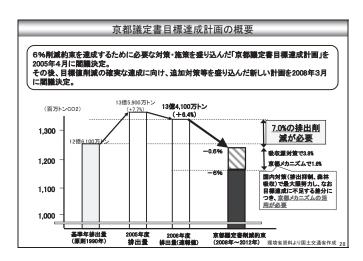
便はほとんどありませんから、北海道から北米に輸送しようと思うと、日本国内を北海道から東京に船で持ってくるか、鉄道で持ってくるか、あるいは釜山経由にするかの選択が必要です。どの港を選ぶか、どの輸送モードを選ぶかによって、環境負荷が大きく違うことになります。従って、港湾を核にして、どういう輸送ルートを採るべきかを考えて、温室効果ガスの削減に貢献しようということを今考えています。



図表 2-24 港湾における温室効果ガス削減に向けた港湾政策の方向性

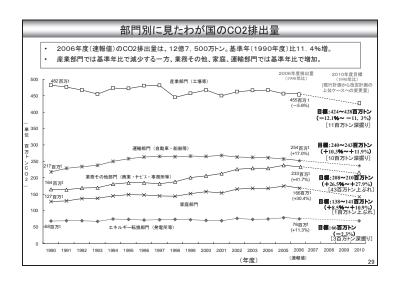
残念ながら、実はまだ排出量がつかめていません。港湾の中でどれだけの温室効果ガスが出ているのかということがよく分かっていないのです。船から出てくる量は大体分かるのですが、港湾の中でトラックが動いたり、いろいろな荷役機械が動いたりしますが、そうした港湾活動でどれぐらい負荷を出しているかは分かりません。それから渋滞だとか、あるいは先ほど言ったどのルートを選ぶかによって、どれだけ CO<sub>2</sub> が出ているかもよく分かりません。従って、まずそれをつかんだ上で、温室効果ガス削減に向けて港湾がいかに貢献していくかということが今、非常に大事になってきています。

図表  $^{2-25}$  は、港湾だけの問題ではなく、どれくらい  $CO_2$  排出量を下げていかないといけないかということですが、京都議定書の関係でいうと、1990 年を基準にすると 7%の排出削減が必要になってきています。これを各分野でやっていかないといけません。



図表 2-25 京都議定書目標達成計画の概要

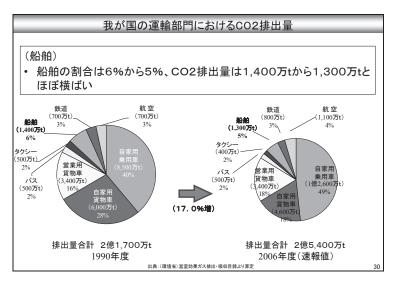
図表  $^{2-26}$  はわが国の中でどのように  $CO_2$  を出しているかということですが、産業部門が大きいのですが、減ってきています。一番増えているのは商業・サービス系で、家庭系も増えています。運輸部門がかなりの量(約 20%)を占めていますから、これをどうするかということが非常に大きな問題です。



図表 2-26 部門別にみたわが国の CO<sub>2</sub> 排出量

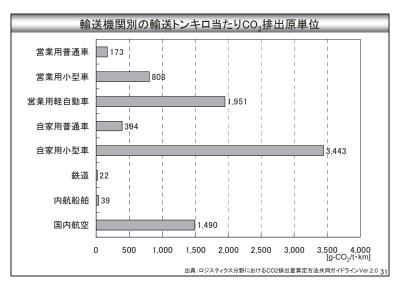
運輸部門の中では、やはり自動車の比率が非常に高いです(図表 <sup>2-27</sup>). 1990 年比で見ても自動車の割合が非常に増えています. 従って、これはトラックの対策だけやったらいいのではないかということになりますが、先ほど申しましたようにトラックが運んでいるのは、例えばコンテナ貨物だったりするわけです. 従って、どの港を選ぶかで、例えば近く

の港に運ぶと自動車の走行距離が減りますから、 $CO_2$ の排出が減ることになります。そうやって  $CO_2$  を削減するという観点から、どういう港湾の選択をしていったらいいのか、あるいは輸送モードの選択をしていったらいいのかということが課題になっています。



図表 2-27 我が国の運輸部門における CO<sub>2</sub>排出量

図表  $^{2-28}$  は単位輸送トンキロ当たりどういう排出原単位になっているのかです。 $g-CO_2/t$ ・km になりますが、鉄道が一番小さい、それから内航海運が小さい。いろいろなデータがありますが、自動車に対して、鉄道は 7分の 1 とか 10分の 1、内航海運は 4分の 1 とか 5分の 1 といわれています。



図表 2-28 輸送機関別の輸送トンキロ当たり CO<sub>2</sub>排出原単位

問題は航空貨物で、1490ですから、けた外れに大きく、鉄道の70倍ぐらい使っています。図は国内航空ですが、国際航空でも負荷の程度が一緒だとすると、外国から入ってくる貨物に対して、航空と船舶では、全く負荷が違ってきます。航空貨物と海上貨物は競合しています。例えば上海から東京のどこかのスーパーにどうやって持ってくるかというときに、急いでいたら航空で持ってくるし、急がなかったら海運で持ってきます。そういった点で、船舶と航空は競合関係にあります。

船舶は遅いわけですが、この遅いものをいかに速くするか、海上を速く走るということではなく、港で荷物がとどまったり、いろいろなことで時間を食うわけですから、手続き関係を短くするとか、そういうところの勝負によって航空貨物に対抗できるような速さを作っていこう。あるいは鉄道と連携することによって、例えば釜山から博多、釜山から下関へ持っていって、そこからはレールでつなぐ。「シーアンドレール」といっていますが、負荷の小さい「シーアンドレール」と航空で競争して、なるべく「シーアンドレール」に持っていこうとか、これらが  $CO_2$  の観点から非常に大事になってきます。先ほどの国際複合一貫輸送というのは、そういった観点からやっているわけです。

それで、中長期的に何をやっていくかということですが、とにかくまず CO<sub>2</sub> の排出構造が分かっていないので、構造をはっきりさせないとお話になりません.

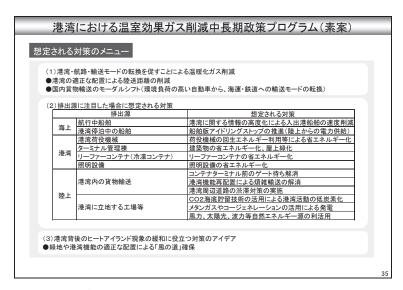
実際にどういうところから温室効果ガスが出ているか、東京港で今試算しています(図表 <sup>2-29</sup>). 例えば船から出る量, それから荷役機械, ガントリークレーンといっていますが, クレーンから出る量, それからゲート待ちのトラックから出る量, そういったいろいろなところから出てきますので, それを今把握しています.



図表 2-29 港湾に起因する温室効果ガス

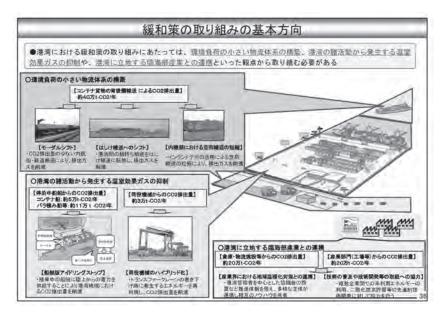
#### 2-3-2 課題解決へ向けた取組

その上で、どういう方法を取ったらいいか (図表 <sup>2-30</sup>). 例えば港に船が泊まっているときでも、船の内の電力が必要ですので、船はずっとエンジンのアイドリング状態なのです. 例えば車が信号で止まっていても、エアコンを回しているので、エンジンがずっとかかっているような状態と同じだと思っていただければいいです。また、実はこれが一番主要な施策になると思っていますが、陸上輸送をいかに短くするかということが大事です.



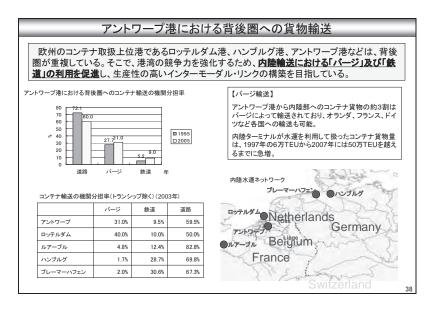
図表 2-30 港湾における温室効果ガス削減中長期政策プログラム

図表 <sup>2-31</sup> は先ほどの例を図示したものですが、アイドリングストップ、それからハイブリッド化といって、港の中のいろいろな荷役機械について、ハイブリッドカーのように発生源対策をする。それからモーダルシフト、陸上輸送から海上輸送に転換しましょうということ。さらに、内陸部における空荷輸送の短縮、それから、産業部門も相当出していますから、これをどうするかということも問題になってきます。



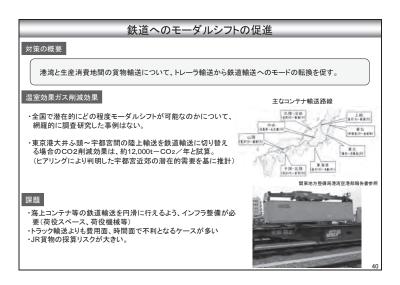
図表 2-31 緩和策の取り組みの基本方向

図表 <sup>2-32</sup> はアントワープ港で実際どのように輸送分担がされているかですが、バージというのは内航、川をさかのぼっていく船です。これが 31%分担する。例えば、日本からアントワープ港に着いたコンテナは、アントワープ港から内陸に運ばれていく必要がありますので、それがどういう分担かということです。アントワープだと、バージが 31%、鉄道が約 10%、道路が 60%となっています。ロッテルダムでは道路 50%、バージが 40%。ヨーロッパの港は川をずっとさかのぼって内陸まで持っていけますので、そういった面でバージの輸送が多いわけですが、それにしてもバージや鉄道が多く使われています。



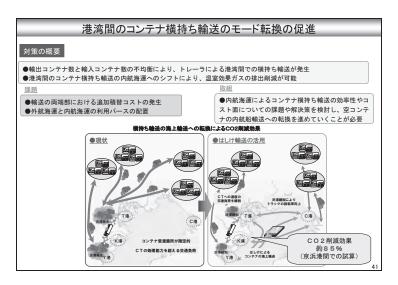
図表 2-32 アントワープ港における背後圏への貨物輸送

日本の港は書いてありませんが、ほぼ 100%トラックだと思っていただいていいと思います。鉄道はほぼ 0、内航のコンテナも非常に少ないです。従って、トラックによる陸上輸送が多いので、その分だけ環境負荷が大きく出てきていることになります。先ほどコンテナの集中改革プログラムの中にも出てきましたが、鉄道や内航輸送などをいかに効率化して、自動車に対抗できるようにするかということが、非常に重要なテーマです。 図表 2-33 は、鉄道ですが、残念ながら鉄道は、旅客を優先したために、日本の場合、貨物の輸送能力は今運んでいるものでいっぱいという状況ですので、これをこれからどう供給力を高めるか、CO。削減の観点からは極めて大事です。



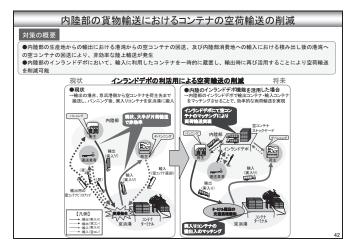
図表 2-33 鉄道へのモーダルスフと促進

図表 <sup>2-34</sup> はバージです. 例えば千葉からトラックで湾岸道路を通って横浜に持ってくる のではなく, バージ船で持ってくる. 横浜港と東京港の間も陸上でコンテナが動いていま すが, これもバージ船で持ってくるということです.



図表 2-34 港湾間のコンテナ横持ち輸送のモード転換の促進

図表 2-35 はインランドデポといっていますが、これぐらい無駄があるという例です.コンテナというのは船会社の持ちものです.内陸部の荷主は船会社からコンテナを借りて、それに物を詰めて運ぶことになります.それは運送事業者がやりますが、大体運送事業者は内陸にいるのです.これを栃木だと思ってください.栃木の荷主のすぐ横に運送事業者がいます.例えば荷主が輸出したいと思ったら、運送事業者はコンテナを港まで借りにいく.朝早く起きて、空のコンテナを港に取りにいって、荷主のところに持っていくのです.そこでコンテナを詰めて、港に持っていく.コンテナは港から海外に出ていくのですが、車はまた空になり栃木に帰っていくわけです.そうすると、運送事業者に注目していただくと、空で3回走って、実入りで1回しか走っていません.こんな無駄が今生じています.



図表 2-35 内陸部の貨物輸送におけるコンテナの空荷輸送の削減

これをどうしたらいいかというと、内陸にインランドデポというのを作って、船会社のコンテナをそこに置いておいてもらうのです。例えば栃木の中に空コンテナを置いておいてもらって、荷主はここから借りてくるのです。運送事業者もすぐ近くにいますから、それに荷をいれて運んでいくわけです。運んでいったら、帰りは実入りのコンテナを、実入りというのは荷物が入っているということです。荷物が入っているコンテナを港から工場へ運んできて、荷主が空にしたら、インランドデポに返すのです。そうするとほとんどが実入り、荷物が入った輸送になり、短い距離だけ空で輸送されているということになります。

これは非常に漫画みたいな話で、こんなことはやればいいではないかということになるのですが、実はこれがなかなかできません。荷主も違うし、船会社も違うし、コンテナがいつも都合良くマッチングされるわけではありません。ですから、こういったことをうまくやるためのシステムが必要になります。

図表 <sup>2-36</sup> は船のアイドリングストップです. アイドリングストップしたときには陸上から電源を取る必要がありますが, その陸上から電源を取る規格が世界的に統一されていないので, まずそれを統一する必要がありますが, これは進めていかないといけません.



図表 2-36 船舶版アイドリングストップの推進



図表 2-37 省エネルギー型荷役機械の導入促進

図表 2-37 は荷役機械のハイブリッド化です.

もう一つ、やはり  $CO_2$  の吸収対策もやっていかないといけませんので、これはもちろん緑地の整備もありますが、海の中の藻場もあります(図表  $^{2-38}$ )。藻場というのは海草で、海草が生えていると、 $CO_2$  を吸収しますし、もちろん魚もいろいろな栄養分を吸収しますから、そういったもので豊かな海をつくるということが、やはり  $CO_2$  対策になるということです。



図表 2-38 港湾における二酸化炭素の吸収源拡大等の施策の推進

それから蛇足ですが、例えば皆さん魚を食べますが、魚は今、ほとんど外国から運んできます. 外国から遠い距離を運んでくると、それだけ CO<sub>2</sub>を出しているわけです. そして

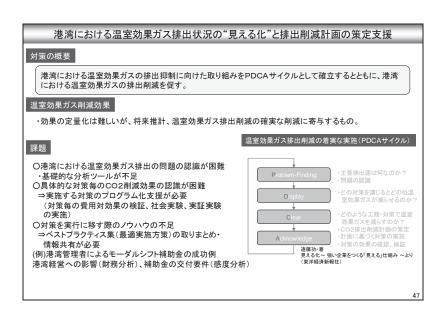
魚を食べて消化した,その排せつ物が東京湾に出ますが,出過ぎるといけないので,下水処理場で栄養分を取っているわけです.その処理でまた CO<sub>2</sub> が出ているという状況です.

その魚を、例えば東京湾の魚を食べるとどうなるかというと、環境負荷のフットプリントで足跡をたどっていくとどうなるかということになりますが、東京湾から取るから輸送距離も短いわけです。食べて排せつされたら、その栄養分がまた東京湾の魚の栄養になっていきます。そうやっていけば、事実上 CO<sub>2</sub> はほとんど出ないのです。江戸システムなどといわれていますが、江戸時代のような状態だったら、そのシステムが成り立っていたわけです。まさか今、江戸時代の活動に戻すわけにはいきませんが、CO<sub>2</sub>の循環構造はそういうことです。ノルウェーからサバなどを輸入しないで、近海物のサバを食べれば、CO<sub>2</sub>が削減されるのです。

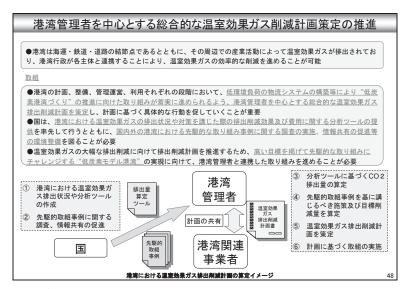
従って、そういった物流だけの問題ではなく、東京湾の環境を豊かにすることによって、 CO<sub>2</sub>を削減することにも貢献する、そういった取り組みも進めていく必要があります.

このような  $CO_2$  削減を進めようとすると、一人の物流事業者が何とかするということも 非常に大事ですが、全体としてどうしていくのかというきっちりした計画を作り、その上 で具体的な対策を取っていくということが大事になってきます.

図表 <sup>2-39</sup> では"見える化"といっていますが、まず今の排出状況を"見える化"して、何をやっていったら減るか、そして、それを実行するための多様な主体の連携をどう進めるかが極めて大事になってきます(図表 <sup>2-40</sup>).



図表 2-39 港湾における温室効果ガス排出状況の見える化と排出削減計画の策定支援



図表 2-40 港湾管理者を中心とする総合的な温室効果ガス削減計画策定の推進

港の場合、それが機能するために多様な主体がかかわっていることが大きな特徴です。 たとえば地震が起きたときにどうなるか、これは目黒先生にもご指導いただいていますが、 多様な主体の協働がないと貨物は全く動かないのです。例えば東京湾の入り口に船が入っ てきたときには、パイロットといって水先案内人が乗ります。地震が起きたときに、水先 案内人がけがをして乗り込めないということになったら、どんなシステムを作っていても、 そこがボトルネックになって、船が一切入ってこられないのです。ですから水先案内人の 方には、地震が起きてもすぐ働いてもらえるシステムを作ってもらわないといけないのです。そのように、港湾の場合は多様な主体の連携・協働が必ず必要になってきます。

多様な主体の連携という言葉は簡単ですが、そこでは目的・目標が一致しないと、みんな動きません。 $CO_2$ の削減というのは、どちらかといえば付加的なことです。自分のビジネスそのものに直にかかわってくるわけではないので、なぜ $CO_2$ の削減を自分がやらなければいけないのかという点について、共鳴や共感がなかなか得られません。従って、何が一番大事かというと、多様な主体が共鳴、共感できるようにしないといけないのです。そのためには、やはり排出構造を明らかにして、何が問題かを明らかにして、「こんなことなのでぜひ協力をしてください」ということを言っていく必要があります。ただ、そうは言いながら、教条的なことを言っていても、なかなか協力してもらえませんから、それがやはりビジネスに乗らないといけないわけです。ビジネスに乗るために何をしたらいいかというと、物流の効率化です。物流を効率化することによって $CO_2$ が削減されます。先ほど言った無駄な走りを減らすということは、 $CO_2$ も削減されますが、もちろん、余計なコストが

かからないわけです. そうやって物流の効率化を通じて, CO<sub>2</sub> の削減をしていくというのが, やはり非常に現実的な答えになると思っています.

繰り返しになりますが、削減しましょうという教条的なものではなく、まずは心の問題です. 共鳴、共感を得て、「やはり大事だよね」という気持ちを持っていただくこと、その上で具体的な行動をするときに、具体的にメリットになるものを提示していくことが大事になってきます. そこはなかなか簡単にはいかないので、今一生懸命やっています.

ご清聴ありがとうございました(拍手).

(司会) 難波先生, ありがとうございました.

# 3. 「港湾・海岸におけるインフラマネジメント」

# 講師 横田 弘((独)港湾空港技術研究所 研究主監/東大 ICUS 客員教授)

### 【略歴】

- 1980年 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻修士修了
- 1980年 運輸省港湾技術研究所構造部沈埋構造研究室研究官
- 1986年 同主任研究官
- 1990年 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所次長
- 1992年 運輸省港湾技術研究所計画設計基準部設計技術研究室長
- 1993年 東京工業大学博士(工学)授与
- 1997年 同構造部構造強度研究室長
- 2001 年 (独)港湾空港技術研究所地盤·構造部構造強度研究室長
- 2005年 同 LCM 研究センター長 (構造強度研究室長兼任)
- 2006 年 同研究主監 (LCM 研究センター長兼任)
- 2007 年 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 連携教授 浙江大学(中華人民共和国) 客員教授

東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター客員教授

(現在に至る)





### 3-1 紹介と講演の主題

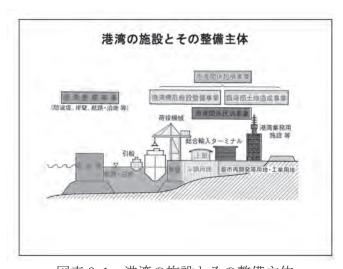
(司会) 次のご講演は、港湾空港技術研究所の横田弘先生に「港湾・海岸におけるインフラマネジメント」と題してご講演を行っていただきます。横田先生は、昭和55年に運輸

省に入省され、横浜調査設計事務所次長、港湾技術研究所構造強度研究室長などを経て、現在は港湾空港技術研究所 LCM 研究センター長、並びに研究主監をお務めです。また、平成 19 年 11 月からは、ICUS の客員教授としてもご活躍です。それでは横田先生、よろしくお願いいたします。

(横田) 皆さん、こんにちは、ご紹介いただきました横田でございます。先ほど難波様から港湾の計画の話をいただきました。新設の構造物を造るのも非常に重要ですが、既に造られている構造物をどのように維持していくのかということも重要です。このお話を私の方からさせていただきます。基本的には、構造物が壊れたり、使えなくなったりすることを防ぎ、大事に長く使っていくにはどうすればいいのか、というのが私の講演の主題です。

# 3-2 港湾整備の概要

図表 <sup>3-1</sup> のように、港湾の施設にはいろいろな種類のものがあります。防波堤や岸壁、それから背後の埠頭用地や工業用地、このようなものも港湾施設の中に入っています。

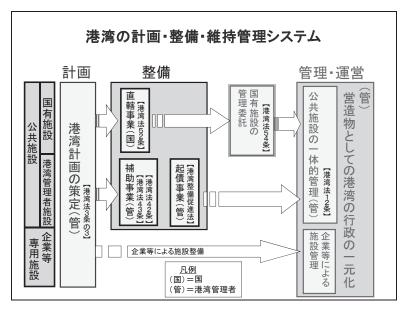


図表 3-1 港湾の施設とその整備主体

それから、岸壁に着いた貨物船に荷物の積み下ろしをするための荷役機械、旅客船用のターミナルビルなどもあります。このような施設は、すべて国が造っているわけではありません。それぞれのところで、造っている人も違いますし、使っているお金も違います。それから、施設を管理する人も場合によっては違うということで、非常に複雑な様相を示し

ています.

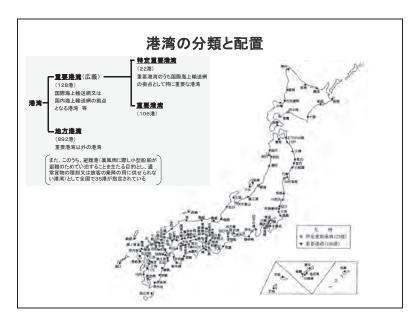
本来、港湾の施設は港湾法の規定に従って計画され、整備され、維持されることになります。整備では、国が自ら造る直轄事業と、港湾や海岸の管理者が造る補助事業(国と管理者すなわち地方公共団体等が費用を分担)や単独事業、それから起債事業ということで、民間等の資金を活用するものがあります。このように、建設には多く方法がありますが、出来上がった後はすべて「営造物としての港湾の行政の一元化」ということから、港湾管理者の方に施設の管理を委託しています。ですから、国が造った国有港湾施設でも、管理者の方に委託して管理してもらうことになります(図表 3-2)。



図表 3-2 港湾の計画・整備・維持管理システム

そうすると、造る人と管理をする人が違うことになります。造る人は、いいものを造ることは当然ですが、できるだけ安く造って管理者にお任せしようとします。管理する人は、できるだけいいものを引き受けないと、後々維持管理に非常に苦労することになります。この両者の関係がうまくいっている間は問題ないのですが、そうでない場合も考えられます。したがって、維持管理の観点から、施設の建設と管理をうまくつなぐシステムを作っていく必要があります。

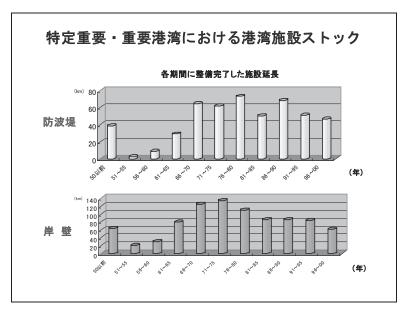
先ほどお話がありましたとおり、港湾は日本全国にたくさんあり、直轄工事をしている 港湾だけでも、ちょっと統計データが古いかもしれませんが、全国で 128 港あります(図表 3-3).



図表 3-3 港湾の分類と配置

地方港湾も892港あり、合計しますと日本全国で1000ぐらいの港があります。このほかに 漁港もたくさんあります。国や地方公共団体の財布の中身は非常に限られていますので、 このようなたくさんの港にどのように維持管理のお金を分配していくかということも、大 きな問題の一つです。

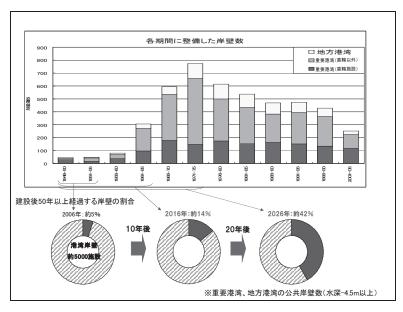
さて、防波堤や岸壁に代表される港湾構造物は、高度成長期に非常にたくさん造られました。図表  $^{3-4}$ は、完成年次を横軸に取り、防波堤の施設の延長と岸壁の施設の延長を縦軸に取っています。最大目盛は、防波堤が  $80 \, \mathrm{km}$ 、岸壁が  $140 \, \mathrm{km}$  ということですので、1976年以降、毎年  $60 \, \mathrm{km}$  とか  $70 \, \mathrm{km}$  ぐらい防波堤がずっと延びていきましたし、岸壁の方も時を同じくして、年間  $100 \sim 120 \, \mathrm{km}$  の延長がどんどん積み重ねられて造られてきました。



図表 3-4 特定重要・重要港湾における港湾施設ストック

# 3-3 求められる港湾施設の老朽化対策

こちらの図表 <sup>3-5</sup> は、今の岸壁のストックを別の指標で表したもので、縦軸は施設の数になっています.船が1隻着ける長さをバースと呼んでいますが、目盛の最大値が900 バースになっています.900 隻の船が着く場所を用意したとも言えます.施設延長と全く同じで、ずっと造られてきた結果、施設が蓄積され、本格的な施設整備が始まって以降45~46年ぐらい経過したことになります.



図表 3-5 各期間に整備した岸壁数

あまり明確には書かれていないのですが、港湾の構造物は一般的に設計供用年数を 50 年程度と考えて設計されています。ですから、通常は 50 年ぐらいが一つの寿命ということになります。下の円グラフのように、港湾岸壁が約 5000 あり、2006 年当時にそのうちの約 5%が年齢 50 歳に達しました。それが 10 年後の 2016 年には 14%になり、2026 年になると約半数近くのものが 50 歳を超えることになります。50 歳になったからといって、非常に元気な方もおられるし、病気がちの方もおられます。したがって、50 歳になったら必ず何らかの手を入れなければいけないということではありません。一つの年齢の目安ということで考えて下さい。

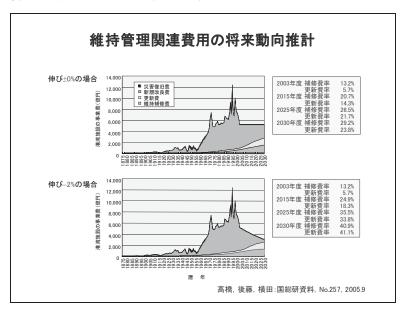
港湾や海岸の構造物を目をこらして見ていただければ、場合によってはいろいろな不具合が見つかるかもしれません(図表 3-6).



図表 3-6 港湾施設に生じる劣化・損傷の事例

よくあるのは、防舷材という船が岸壁に直接当たらないようにしている緩衝材のようなゴムが破損するというものです。大体 20~30 年使っていますと、この写真のような例が出てきます。コンクリートにひび割れがたくさん生じ、周囲の人に不安感を与えるようなものもあります。それから、海の水には塩分が入っていますので、鉄(鋼材)はどうしてもさびやすくなります。そのため、鋼材に腐食が生じたり、コンクリートであっても中に鉄筋が入っていますから、コンクリートの中を塩分が移動していって、中の鉄筋をさびさせるような状況になってきます。

このような不具合に対していろいろ手当てをしなければいけないことになりますが、少し前に国土技術政策総合研究所の方と一緒に、将来幾らぐらいその手当のための費用がかかるのかということを推定してみました。特に厳密な数学モデルを作って推定したのではなく、維持管理に要したこれまでの費用の発生傾向から将来を分析するというやり方を取っていますので、精度については若干議論があるところかもしれません。推定当時の2000年以降、港湾事業費が一定である場合(伸び率±0%)と、毎年2%ずつ減ってくる場合(伸び率-2%)とに分けて推定しました(図表3-7)。

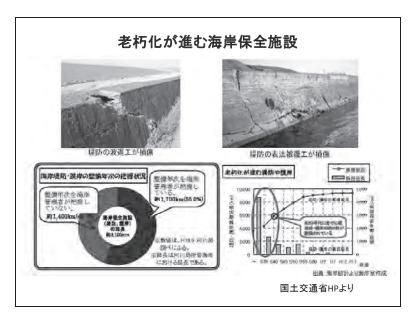


図表 3-7 維持管理関連費用の将来動向推計

ご承知のとおり伸び率0ということはなく、公共事業費は毎年数%ずつ減ってきていますので、どちらかというとこのシナリオ(伸び率-2%)に近いのが現状です。このように、投入できるお金は減ってきていますが、必要とするお金は変わりませんので、赤い線と青い線は両者の場合で同じです。予想の結果では、2015年になりますと、このままのペースでいくと補修費が全予算の25%ぐらい、それから更新(造り替える)費用が18%ぐらい、合わせて42~43%のお金を維持管理のために投入しなければいけません。2030年度になりますと、それぞれ40%ぐらいということで、全予算の80%ぐらいを既存施設の維持管理等に使っていかないと、今の港湾施設のレベルが維持できない、という予想結果が出ました。過去の実績から推測していますので、申し上げたように若干の精度上の問題はあります。しかし、いずれにしても、必要なこれらの費用をできるだけ少なくしていかないことには、よほど日本経済がよくならない限り、極端に言えば、破綻するような状況になるかもしれません。

ですから、このお金をいかに減らしていって施設の新規建設に回せるか、最新鋭の施設を造るお金をいかに確保していくかということを考える必要があります.

海岸の施設も港湾の施設と環境的には非常に似ており、同じような状況になっています. 海岸の施設は、昭和34年の伊勢湾台風の後にかなり本格的に造られるようになってきましたので、やはり50年ぐらい経過した施設が非常に増えています. わが国の海岸線は全部で3万km ぐらいあるといわれていますが、この図表 3-8 によれば、このうち海岸保全施設のある海岸延長は約3000km、わずか10%足らずです.



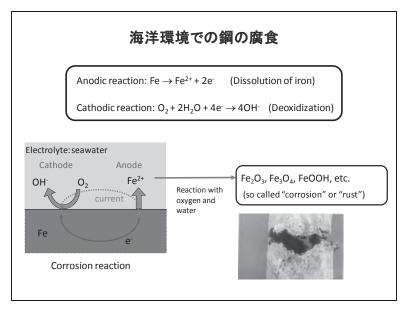
図表 3-8 老朽化が進む海岸保全施設

そのうち、海岸管理者が整備年次を把握していないものが半分近くあります.これは、施設管理のデータをきちんと残すような仕組みがなかったことかと思います.「老朽化が進む海岸の堤防や護岸」と書かれていますが、施設の整備が増えるにつれて、やはり維持管理が必要な施設量が増えてきています.

これまで施設の老朽化に対して、全く手をこまねいて見ていたわけではありません.国 交省の方でも、インフラの維持重視の政策に転換してきつつあります.特に最近では、ICUS でも研究されていますが、台風の強度が高くなったり、あるいは津波の危険性が高くなっ たりということが言われています.特に海岸保全施設ですと、高潮や津波から背後の住民 や財産を守るという使命がありますので、その防護性能の評価をきちんとしていかなけれ ばいけません.最近はハザードマップが各自治体で整備されるようになり、想定している 津波や高潮が来た場合に、どの地区がどのくらい浸水しそうだということが分かります. ただ、残念ながらこのようなハザードマップは、私の知り得る範囲では、現状の海岸施設の性能がきちんと反映されているわけではありません.計画上の海岸施設の天端高などを用いて計算をしていますので、部分的に海岸施設が老朽化していたり、沈下などで天端高が不足していたりすると、想定外の被害が出る可能性もあると思っています。ですから、既存施設の現状や機能・性能をきちんと評価し、また将来どうなっていくかということを考えてきちんと対応していくことが、非常に重要だということがご理解いただけるのではないでしょうか.

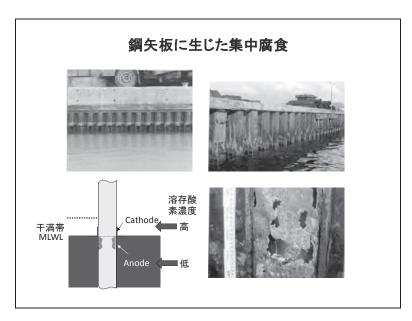
ここからは少し技術的な話になります。海洋環境下ではいろいろな形態の劣化・変状があるということを紹介しましたが、一番顕著なものが鉄(鋼材)の腐食です。この図表 <sup>3-9</sup>に示すように、陽極 (anode) の部分と陰極 (cathode) の間で腐食電流という電流が流れて、電気回路が形成されます。すると、陽極のあたりから鉄がどんどん溶けだしてきます。これがいわゆる「さび」ですが、進行すると、鉄がなくなって、孔が開くような状態になります。

港湾や海岸の構造物では、鋼材(鉄)が結構たくさん使われていますが、そのうちの一つに鋼矢板式の護岸や岸壁があります。これは鋼矢板といわれる鉄の板材のようなものを 海底中に打ち込んで壁を構築し、その壁で背後の土が崩れないように支えるというものです。



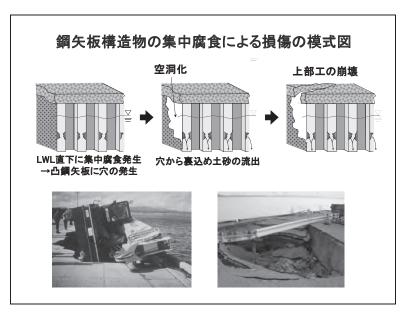
図表 3-9 海洋環境での鋼の腐食

この図表 <sup>3-10</sup> のように、ある特定の部分(平均干潮面 MLWL 付近)に腐食によって孔が開いてしまった事例が見られます.最近の鋼構造物は防食対策がきちんとされていますので、あまりこういうことになる心配はありませんが、40~50 年前に造られたような古い構造物でしばしば見られます.このような集中腐食も先ほどの腐食反応によって生じたものです.断面図はちょうど横から見たところですが、この平均干潮面(MLWL)のやや下辺りが陽極に、やや上が陰極になり、陽極の周辺が非常によくさびるようになります.これが港湾構造物特有の腐食の形態ですが、なぜこうなるかということは実はまだはっきりとは分かっていません.一つの理由として、海水中は酸素の濃度が低く、空気中は酸素の濃度が高いので、その酸素の濃度の差で電池ができて腐食電流が生じるということがあります.こんなささいなことで、局所的に腐食が生じることになります.



図表 3-10 鋼矢板に生じた集中腐食

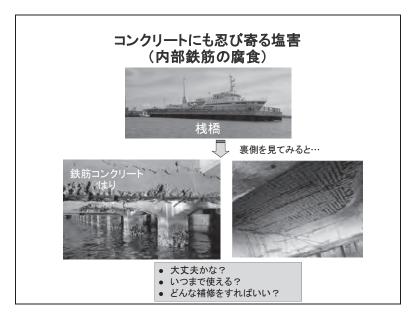
矢板は背後の土が崩れてくるのを防ぐための鋼の壁材ですので、孔が開いてしまいますと背後の土砂がどんどん流出してきます。そうすると、知らないでトラックやクレーンが通ると突然陥没し、ひっくり返ってしまうかもしれません。舗装をはがして見てみますと、本来入っている土砂が何もなかったというようなこともありました(図表 3-11)。



図表 3-11 鋼矢板構造物の集中腐食による損傷の模式図

こうなるまで全く兆候がないかというと、そういうわけではありません.よく見れば孔が 開いているのを見つけられるのですが、大潮の干潮時のように非常に水位が低いときでな ければ難しい場合もあります。陸上や海上から見ただけでは分かりません。ですから、兆 候が出ないうちにこんな状態に至ってしまうこともあるのです。これが施設の維持管理に おいて非常に怖いところです。

コンクリート構造物も同じです.この図表 <sup>3-12</sup> は桟橋の例ですが,見えないところを見てみますと,別の施設の写真で恐縮ですが,鉄筋がさびていたり,コンクリートが落ちて鉄筋がむき出しになっていたり,かつ,破断したりしていることがあります.これも,目的をもってきちんと見に行かないと,見つけられません.これが港湾構造物の点検上の非常に難しいところです.



図表 3-12 コンクリートにも忍び寄る塩害

ここまでをまとめますと、先人のご努力によって、多くの港湾施設や海岸施設が造られてきていますが、だんだん劣化や変状が多く見られるようになってきました。海洋環境というのは非常に厳しい環境ですので、こういうことを避けるのはたやすいことではありません。このまま何もしないでいると、非常に多くの補修費がかかるということで、計画的かつ戦略的に維持管理をし、コストを抑制し、施設の性能を確保して長寿命化させる、ということを実現するために、行政部門と私どもの研究所が一緒になって取り組んできています(図表 3-13)。

# マネジメントに関わる現状認識

### わが国の港湾や海岸のインフラ

- ストック量の増大
- 厳しい海洋環境に位置し、劣化・変状の事例が多く見られる

 $\square$ 

a 2025年には、港湾投資の30%程度が補修(修繕)あるい は更新に向けられると推算される

- 計画的かつ戦略的維持管理の必要性
- 維持管理に関する制度の見直し
- 劣化・変状の進行予測とライフサイクルコスト評価

図表 3-13 マネジメントに関する現状認識

# 3-4 港湾施設の性能確保を目指して

港湾に話を戻しますと、港湾の施設は港湾法の中で、「港湾の施設の技術上の基準に適合するように維持しなければいけない」と書かれています(図表 <sup>3-14</sup>).

# 港湾の施設の技術上の基準

#### 港湾法

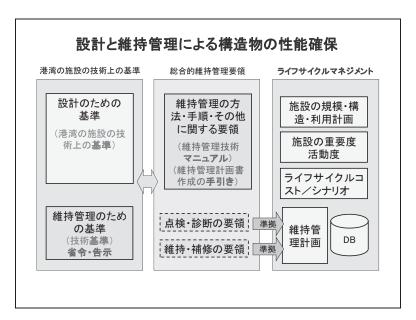
### (港湾の施設に関する技術上の基準等)

- 第五十六条の二の二 水域施設,外郭施設,係留施設その他の政令で定める港湾の施設(以下この項及び次項において「技術基準対象施設」という。)は、他の法令の規定の適用がある場合においては当該法令の規定によるほか、技術基準対象施設に必要とされる性能に関して国土交通省令で定める技術上の基準(以下「技術基準」という。)に適合するように、建設し、改良し、又は維持しなければならない。
- 2 技術基準対象施設であつて、公共の安全その他の公益上影響が著しいと認められるものとして国土交通省令で定めるものを建設し、又は改良しようとする者(国を除く、)は、その建設し、又は改良する技術基準対象施設が技術基準に適合するものであることについて、国土交通大臣又は次条の規定により国土交通大臣の登録を受けた者(以下「登録確認機関」という。)の確認を受けなければならない、ただし、国土交通大臣が定めた設計方法を用いる場合は、この限りでない、
- 3 (略)
- 4 (略)

図表 3-14 港湾の施設の技術上の基準

港湾の施設の技術上の基準というのは、港湾の施設を設計するときなどに用いられます. これまでは、設計に重点が置かれて書かれていたのですが、去年の4月に改訂され、維持管理に関する事項がかなり充実して書き込まれました.この技術上の基準は、今主流になっている性能設計という思想が採用されており、建設直後の性能のみならず、供用中の性能をいかに保証するかということを規定しなければなりません.建設直後に本当に設計どおりに性能の確保がされているかどうか、維持管理の作業の中でチェックしていくことが必要です.

ただ、技術上の基準は非常に拘束力が強いので、あまり細かなことをいろいろ書き込むのは好ましくありません。そのため、供用中の性能確保、すなわち実際の維持管理に関する事項については、別途「総合的維持管理要領」のようなものを作ることになります(図表 3-15)



図表 3-15 設計と維持管理による構造物の性能確保

それを冒頭申し上げましたように国のみならず、港湾の管理者や民間会社の方に使っていただいて、日本全国の港湾の施設がほぼ同じレベルで維持管理できるようにすることが望まれます。このようなマニュアルや手引きを使って維持管理をしています。

この技術上の基準の中で非常に特徴的なことは、19年3月の告示の中に書かれています. 告示というのは法律に準拠する行政文書で、「技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を 定める告示」という名称です。港湾施設としては初めての維持管理に関する告示で、これ を基に施設の供用中の性能確保を行うということになります。この告示の第2条(図表<sup>3-16</sup>) に書かれていますが、港湾施設は維持管理計画等を作って維持管理し、その維持管理計画 は「当該施設の設置者が定める」としています。ある港に施設を造ることを考えますと、 施設を造る人が施設を造るときに、出来上がった後のことを想定して維持管理計画も作る ということです。

# 技術基準対象施設の維持に関し必要な 事項を定める告示

(平成19年3月26日国土交通省告示第364号)

#### (維持管理計画等)

第2条 技術基準対象施設の維持管理計画等は、当該施設の設置者が定めることを標準とする.

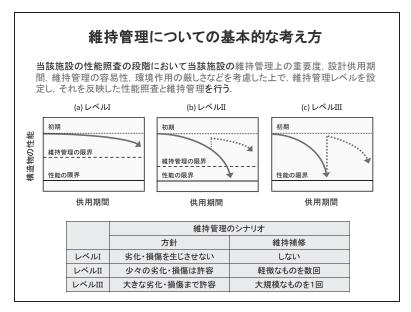
- 2 維持管理計画等は、次の各号に掲げる事項について定めることを標準とする.
- 一 当該施設の供用期間並びに当該施設全体及び当該施設を構成する部材の 維持管理についての基本的な考え方
- 二 当該施設の損傷, 劣化その他の変状についての計画的かつ適切な点検診断
- 三 当該施設の損傷、劣化その他の変状についての計画的かつ適切な維持工事 等
- 四 前三号に掲げるもののほか、当該施設を良好な状態に維持するために必要な維持管理
- 3 維持管理計画等を定めるに当たっては、省令第6条に基づき設定される当該施設が置かれる諸条件、設計供用期間、構造特性、材料特性並びに点検診断及び維持工事等の難易度、当該施設の重要度等について、勘案するものとする.

図表 3-16 技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示

これは非常に画期的なことではないかと思っています. 一般的には、設計をして、施設が完成し、これを維持管理しようという段階になって維持管理計画を作ることが多いと思います. 港湾施設の場合は、設計の段階で出来上がった後のことを考えて少し早めに維持管理計画を作ることになります. これが非常に新しいことではないかと思います.

その維持管理計画を作るときに、将来この施設をどういう考え方で維持管理していくのかということを決めますが、それが維持管理レベル I ~III(図表 ³-17)です。レベル I というのは、この供用期間の 50 年や 100 年という長期間、補修が必要でないように、立派なものを最初から造っておくというものです。非常に高品質の材料を使い、きちんと設計し、劣化しにくいような構造形式を選定し、かつ供用中もきちんとそれを確認していくことによってこれを達成しようとするものです。レベル II は予防保全と言われているもので、少々劣化が起きて性能が低下することは許すけれども、あまりひどくならないうちに、すなわち維持管理の限界に達する前に補修するということを設計のときに計画的に考えておこうというものです。したがって、軽微な補修を何回か繰り返して性能を確保することになります。レベルIIIは、供用中に性能がどんどん低下しくことを許容し、もうどうしようもなくなったときに大規模な補修を行って、性能を引き戻すということを行うもので、事後保全と呼ばれる考え方です。しかし、事後保全では、その工事の発生を正確に予測することが難しいということと、どうしても工事が大規模になり、相当な費用も必要で、施設の供用も長い期間止めなければならないことになります。本来われわれが目的としている施設

の長寿命化や性能の確保ということを考えると、やはり予防保全が非常に重要であると言えます。「予防保全」がこれからの維持管理のキーワードになります。



図表 3-17 維持管理についての基本的な考え方

予防保全の目的(図表 <sup>3-18</sup>)にはいろいろあり、劣化を生じさせないことが一つの大きな目的ですが、当然劣化が生じなければ、重大な事故や災害が起きにくくなり、機能上の確保の点からも重要です。それから国有財産については、こういうことをあまり考えなくていいかもしれませんが、マンションなどを考えていただければ、当然予防保全をすることによって資産価値が下がることを防げます。社会的便益が向上し、環境保全にもつながります。こういうことが予防保全の利得として挙げられます。

### 予防保全の目的

#### 長寿命化の手段は予防保全である

- 劣化を生じさせない
- ・腐食, ひび割れ, 沈下, 散乱…

#### 事故・災害を生じさせない

- ·重大事故の防止
- ・地震・台風などによる災害の防止

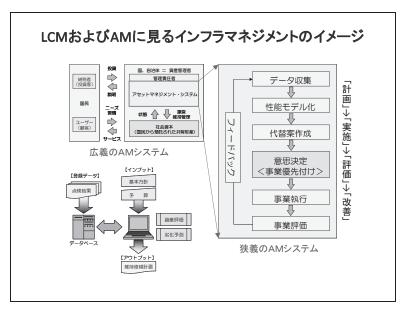
#### 資産価値を低下させない

- 社会的便益の向上
- 資産価値の保持
- ·環境保全

長寿命化の技術的手法として ライフサイクルマネジメント(LCM)

図表 3-18 予防保全の目的

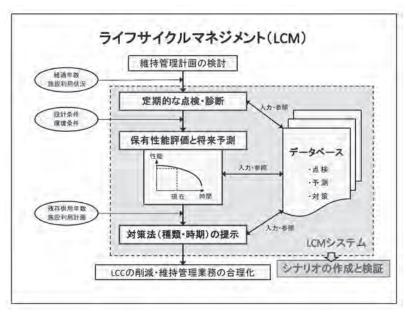
この予防保全を技術的にサポートするということで、LCM (Life-Cycle Management),インフラマネジメント、あるいはアセットマネジメント (AM) と呼ばれるようなシステムがいろいろなところで使い始められています。アセットマネジメントにも定義がたくさんあるのですが、本来の広い意味でのアセットマネジメントというのは、社会資本というアセットをどのように活用していくかということだと思います (図表 3-19).



図表 3-19 LCM および AM に見るインフラマネジメントのイメージ

ただ、この段階にまで到達するにはハードルも高いので、今は橋梁、道路、港湾を含め、 データを点検によって収集し、性能をモデル化して評価し、意思決定を経て事業をし、そ の結果を評価するというサイクルを回すことを、一つの狭い意味でのアセットマネジメン トと呼んでいます。

港湾構造物や海岸構造物では、このフローに似たようなLCMのシステムを作り、徐々に実行していこうと考えています。図表 3-20 のように、LCMの中には3つの基本的な技術があります。点検・診断で現状をいかに正確に把握するか、それから点検・診断結果を用いて性能をどう評価するか、その将来をどう予測するか、それから性能が十分でないときにはどういう対策をしていくかといったことを考えます。先ほど申し上げましたように、維持管理計画を作るときに、これらの全てを考えるということは、何かシナリオを作るということになります。

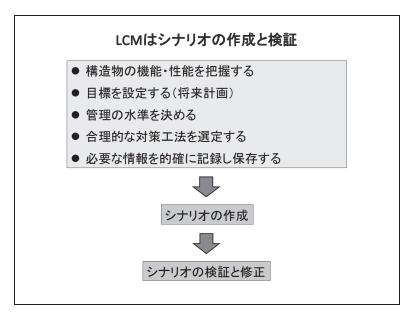


図表 3-20 ライフサイクルマネジメント(LCM)

例えば、このままいくと5年後ぐらいにコンクリートにひび割れが出て、10年後ぐらいに鉄筋が腐食し、15年後ぐらいになってもし地震が来たら壊れそうになりそうだ、だから12年目にこんな補修をしようというシナリオを作ります。そのシナリオを検証していく、あるいは途中段階、例えば5年目ぐらいでそのシナリオが正しいかどうかを考え、場合によっては修正するといった作業が、いわゆるマネジメントと呼ばれるものです。ですから、

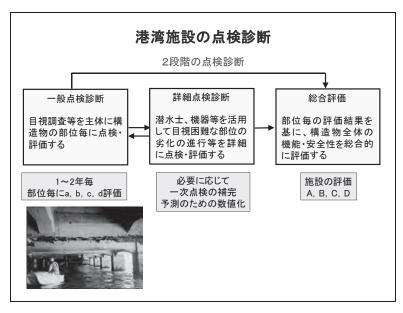
「LCM はシナリオの作成と検証」ということになります.シナリオを作成し、検証し、修

正する,これがマネジメントの特徴です (図表 <sup>3-21</sup>).



図表 3-21 LCM はシナリオの作成と検証

港湾施設や海岸施設では、2段階の点検をしています(図表 3-22). 目視を中心とする一般点検診断、より詳細に行う詳細点検診断です. そして、それらの結果を用いて総合評価を行います.



図表 3-22 港湾施設の点検診断

一般点検診断というのは、港湾の管理者が自ら目視によって、見えるところだけをきちんと見て、判断をして、a, b, c, dのランク(劣化度)を付けるものです。あまりお金をかけないでできるだろうということで、そのようなやり方を採用しています。詳細点検診断というのは、いろいろな計器を使ったり、水中など普段見えないところを見るというものです。したがって、お金もかかりますし、専門家に委託する必要も出てきます。

例えば桟橋のコンクリート上部工ですと、一般点検診断、つまり目視による点検診断では、図表 <sup>3-23</sup>のような表を使います。例えば桟橋上部工のはりで 3mm 以上の鉄筋軸方向のひび割れがあることが観察されたら劣化度がaということになり、aの欄に印が付きます。 点検者は表面に現れる不具合を見て、a、b、c、dを付けることになります。そのため、せいぜい緊急措置が必要かどうかということ、原因の究明がざっとできるということ、それから比較的簡便な方法でできるような対策を何か考えるということになります。

点検項目	<b>(友情) 上 即 上</b>		下面の劣化度判定基準   <sub>判定基準</sub>			
コンクリートの 劣化, 損傷	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数,長 ・ひざ帽 ・かぶりの剥落状況 ・錆汁の発生状況 ・鉄筋の腐食状況	а	スラブ:      網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある     かぶりの剥落がある     錆汁が広範囲に発生している     はり・ハンチ:     幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある     かぶりの剥落がある     錆汁が広範囲に発生している			
		b	スラブ:     網目状のひび割れが部材表面の50%未満である			
		С	スラブ  一 一方向のひび割れもしくは帯状または線状のゲル 析出物がある			
		d	□ 変状なし			

図表 3-23 桟橋上部工下面の劣化度判定基準

しかし、本当に必要なことは表面上の損傷ではなく、性能の評価です(図表 <sup>3-24</sup>). この構造物は一体どれぐらいの地震力まで耐えられるのかといった性能という観点に着目した診断が必要になってきます. 性能や機能にはいろいろなものがあり、それぞれ構造物の根幹にかかわるものです. 見た目ではなく、その性能を評価していくことが大変重要になります.

これは, a, b, c, d という目視によって見つかる不具合で診断した劣化度が, 耐荷力と

いう性能とどんな関係があるのかということを、多くの実構造物から切り出した試験体を 実際に壊して調べた結果です(図表 ³-25). ご覧になっていただきますと、結果は非常にば らついています. 劣化度 a というと相当劣化が進行して、幅 5mm ぐらいのひび割れが出た り、鉄筋が判断したりという状態ですが、場合によっては、計算上の半分ぐらいまで耐荷 力が落ちているものもあれば、あまり変わっていないものもあります.

### 損傷・劣化診断から保有性能診断へ

損傷・劣化診断表面上の損傷を診断・緊急処置、・原因の究明、・対策の提案



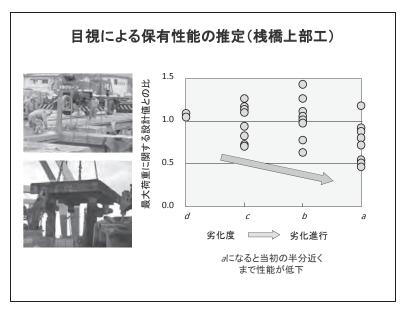
● 保有性能診断 施設が有する機能・性能を診断 どのように性能の維持・向上を図るか

・機 能:供用性,防護,保全 ・安全性:安定性,耐震性 ・使用性:通行への支障,景観

・耐久性:機能・性能を保持する能力

・冗長性:1か所の破損が全体に及ばない

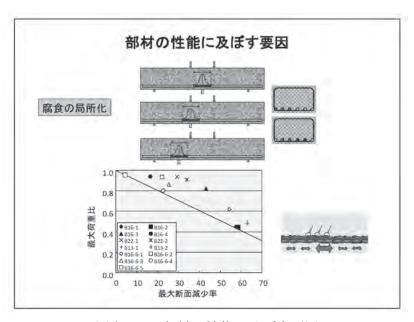
図表 3-24 損傷・劣化診断から保有性能診断へ



図表 3-25 目視による保有性能の推定(桟橋上部工)

しかし、安全側の評価をするということになりますと、b や a ぐらいになると相当性能(耐荷力)が低下しているということが、目視点検の結果だけからでも推測できることになります。 もちろんいろいろな計器を使用した高度な方法で調べれば、その精度を上げることはできるのですが、難しくすればするほど、現場ではやりにくくなってきます。 したがいまして、誰でもやれる簡単な方法で、どの程度のことまで分かるかということが、興味のあるところです。

なぜこうばらつくのかということを考えますと、当然同じ構造部材であっても、非常に大きな断面力が発生するところと、そうでないところがあります。例えば、図表 <sup>3-26</sup> のように 2 点で支えて、上から力を加えていきますと、真ん中の応力や曲げモーメントが一番大きくなります。当然そういう場所が劣化すると、性能(耐荷力)が最も低下することになります。一方で、断面力がさほど大きくない場所に劣化が生じても、それほど性能は低下しないと言えます。先ほどの劣化度というのは、部材を代表する(部材ごとに1つの劣化度が代表して付けられる)もので、部分的に生じた劣化というものをあまり考えていません。こういうように、劣化が生じた場所によって性能に与える影響がどの程度異なるのかということを研究しています。



図表 3-26 部材の性能に及ぼす要因

次は、性能の低下を予測することに話題を移します。予測するにはルールが必要です(図表 $^{3-27}$ )。何かルールがないと、現状から将来を推定するということはできません。そのた

めいろいろルールを作ろうとしています.「理論的アプローチ」と書いてありますが、例えば鋼材の腐食などは、腐食速度が分かると将来の推定が可能です. 例えば年間 1mm ずつさびるということが分かると、10年後は 10mm さびるということが予測できます. コンクリートの塩害についても、鉄筋がいつ頃さびるのかということを、数式を使って計算することができます. ただ、これ以外のものは、現状ではなかなかルールが作れていません. こういうことに関しては、マルコフモデルというルールを使うことを考えています.

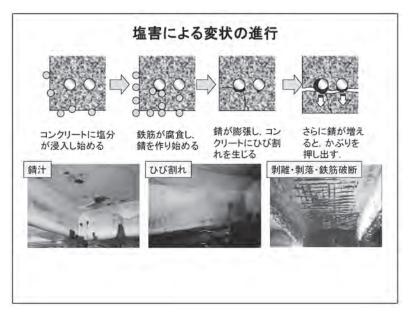
### 劣化の進行・性能低下の予測

予測は難しい 確立された技術は少ない 予測にはルールが必要

- 理論的アプローチ 鋼材の腐食 塩害の発生
- 経験的(確率的)アプローチ マルコフモデル

図表 3-27 劣化の進行・性能低下の予測

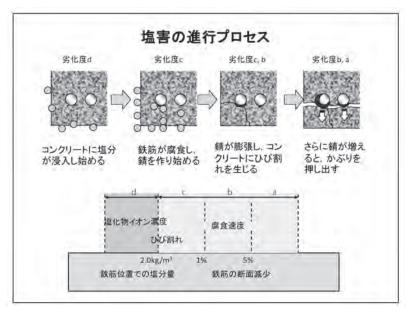
鉄筋コンクリートの塩害は、図表 <sup>3-28</sup> のようなプロセスで進行していきます。コンクリートの表面から塩分がコンクリート中を浸透していきます。内部の鉄筋の周りに塩分(塩化物イオン量)が集まり、その量がコンクリート 1m³中で 2kg に達すると、鉄筋の腐食が始まると考えています(この値は、基準等によって異なります)。



図表 3-28 塩害による変状の進行

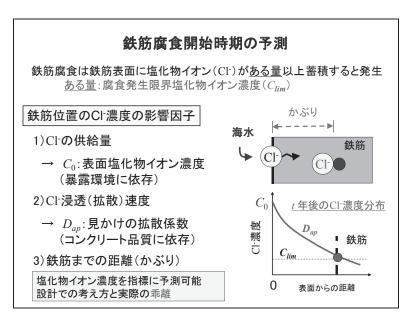
鉄筋腐食によってコンクリートにひび割れが生じますと、ひび割れから塩分や水、酸素がますます供給されますので、腐食はどんどん進行してきます。そうなりますと、あとは塩化物イオンの量ではなく、鉄筋がどれぐらい細ってくるかによって性能が決まります。

港湾構造物では、鉄筋の断面減少率が 1%になったら劣化度 b に、5%になったら劣化度 a になるだろうという目安を立てています (図表  $^{3-29}$ ).



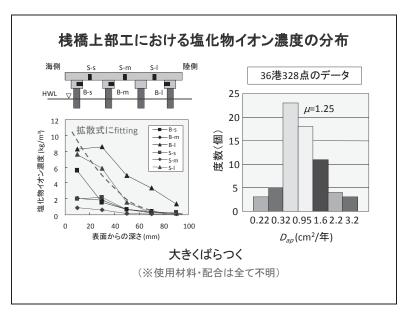
図表 3-29 塩害の進行プロセス

図表 <sup>3-30</sup> に示すように、外側からどれぐらい塩分(塩化物イオン)が供給されるか、塩化物イオンがどコンクリート中をどのくらいの速さで移動するか、表面から鉄筋までどれぐらい離れているかという、この3つの数字が分かりますと、何年ぐらいで鉄筋がさびるかということが計算できることになります。ところが、実際に計算しようとすると、ばらつきが非常に大きいため、なかなか難しいのです。



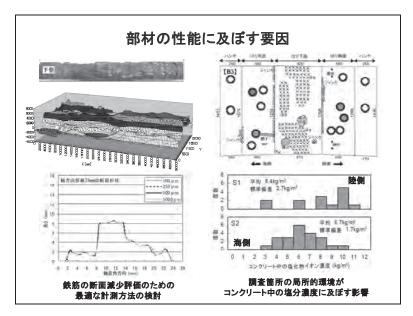
図表 3-30 鉄筋腐食開始時期の予測

図表  $^{3-31}$  は、ある桟橋の上部工における塩化物イオン量の測定結果を示しています.この黒く塗ってある場所から、コンクリートのサンプルを採っています.ここが部材の表面、そこから内部に  $^{20mm}$ ,  $^{40mm}$  というように入っていっていますが,それぞれの場所での塩化物イオン濃度はこのような値になりました.一番低いのは, $^{8-m}$ , ちょうど真ん中の位置ですが,大体表面近くで  $^{1kg/m^3}$ ぐらいの量です. $^{8-1}$  になりますと, $^{10kg}$  とか  $^{12kg}$  ぐらいの量になります.これは同じ構造物からの測定結果ですから,当然同じ時期に,同じ材料を使って造られています.しかも,ほぼ同じような環境条件下にあります.それにもかかわらず,実際にはこれぐらいばらつきます.ですから,予測できるといっても,このようなばらつきの中で,非常に精度よく鉄筋の腐食年数を推定するということは容易ではありません.

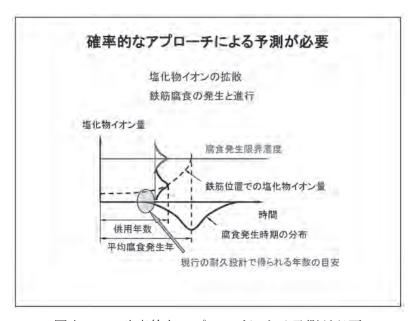


図表 3-31 桟橋上部工における塩化物イオン濃度の分布

一つの部材で見ても(図表 <sup>3-32</sup>), コンクリートの塩化物イオン濃度は丸い印のところで調べたものですが,これぐらいのばらつきを示します.この部材があと何年位使用できるのかということを,この位置のデータを使って計算するのと,違う位置のデータを使って計算するのとでは,相当の違いが出てきます.実際の点検診断では,調査して得られるデータはせいぜい1点か2点ですので,非常に安全側の予測結果が出ることもありますし,非常に危険側の結果が出ることもあります.精度を向上させるのは重要ですが,最終的には確率分布を使って計算するようなシステム(図表 <sup>3-33</sup>)にしていくのが現実的だと考えています.現在,ICUSの加藤先生とも共同でこのような研究を進めています.



図表 3-32 部材の性能に及ぼす要因

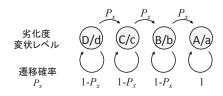


図表 3-33 確率的なアプローチによる予測が必要

一方のマルコフモデル (図表 <sup>3-34</sup>) は、そういう理論式などはありません。先ほど説明しました劣化度がどれぐらいの年数で次の段階に進んできたかというようなデータを使って予測します。単一の構造物や単一の部材では適用が難しく、精度も期待できませんが、これはあるまとまりのあるグループや構造物を対象にすれば効果的です。

### マルコフモデルによる予測

劣化・変状の進行の相違をばらつきとして評価してみる

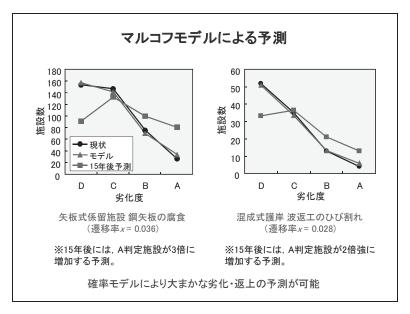


劣化・変状は、 $D(d) \rightarrow C(c) \rightarrow B(b) \rightarrow A(a)$ と徐々に(災害時には急に)進行進行に伴う確率は、項目ごとに異なるが、全て等しいとしてみる

構造物・部材のグループを対象

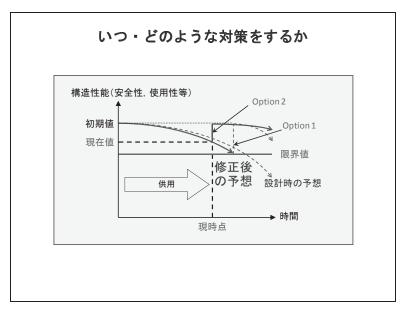
図表 3-34 マルコフモデルによる予測

例えばマルコフモデルを用いて矢板式の岸壁の鋼矢板の腐食という観点で予測してみます (図表 ³-³5). 現在はこういった劣化度ごとの施設数の分布が,15年後にはこのようになるということが予測されます. 今から15年には,劣化度がAの構造物数が現在20~30だったものが70~80ぐらいに,つまり今後15年の間に3倍ぐらいに増えるという結果になっています. それだけ,補修が必要な構造物が出てくるということです. これを困ったなと思うか,余裕だと思うかは財政規模によりけりだと思いますが,このような大ざっぱな予測であっても,あるのとないのとでは大違いです.今後15年後に補修が必要な構造物の数が80になったらいけないということでしたら,これから計画的に予算を確保して,補修していくということになります.



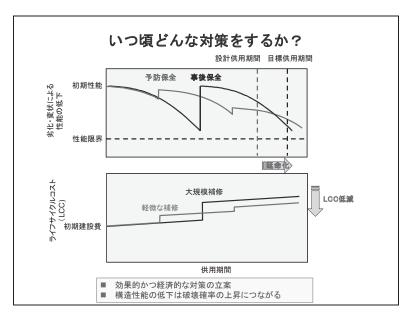
図表 3-35 マルコフモデルによる予測

補修のタイミングとしては、いろいろ考えられます(図表  $^{3-36}$ ). 性能の低下の予測値に対して、この赤い線の限界値に達したら補修するということになります. ちょうど限界値に達するときに何か補修を行って性能を元に戻すという方法( $^{0}$  tion 1)もあれば、この限界値に達する前に補修をするというオプション( $^{0}$  ption 2)もあります. もちろん、その他にもいろいろなオプションの取り方があります.



図表 3-36 いつ・どのような対策をするか

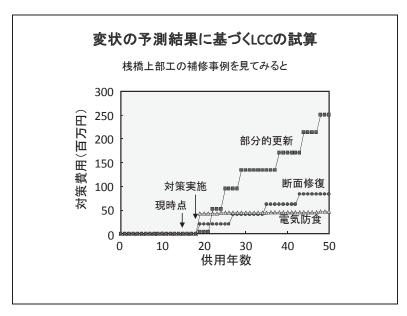
その選択ということになりますが(図表 <sup>3-37</sup>),予防保全といわれているものは,一般的に軽微な補修を何回か繰り返すということですので,Option 2 に近いようなタイミングで補修することになります.



図表 3-37 いつ頃どんな対策をするか?

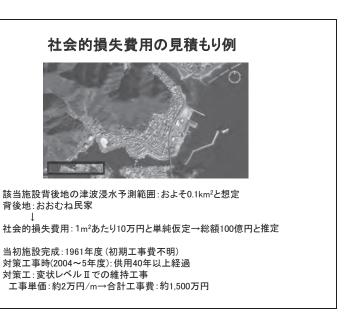
軽微ですから、当然かかる費用も少ないし、社会的なロスも少ないと考えられます。ところが事後保全、つまり性能が限界ぎりぎりになって大規模に補修を行うということになりますと、当然お金もたくさんかかります。最終的にはどちらが安いかということで、補修のタイミングや工法を判定していくこともあり得ます。

その一例が図表 <sup>3-38</sup> で, コンクリート部材を補修する際に, 現状ではいろいろな方法がありますので, どの方法が一番経済的で効果的かということを, こういった価格の積み上げ (ライフサイクルコスト, LCC) で判定するということも考えられます.



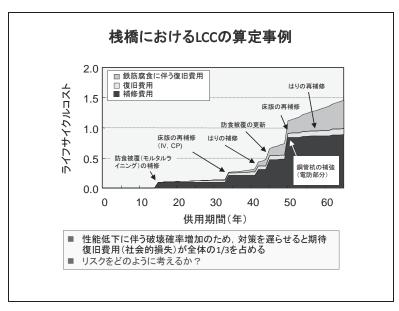
図表 3-38 変化の予測結果に基づく LCC の試算

これに加えて、海岸の構造物ですと、機能が喪失することで生じる損失を考えなければなりません。構造物が壊れたら、背後の住宅が壊れるというように、人命や財産が失われることが考えられます、人命が損なわれることをコストで見積もることはできませんが、このような損失を考慮しなければいけません。先ほどのハザードマップを利用し、ある仮定をすることによって、ここの堤防がもし壊れたときに、どれぐらい社会的損失が出るかということを計算した事例もあります(図表 3-39)。



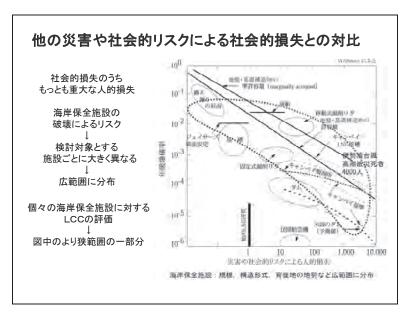
図表 3-39 社会的損失費用の見積もり例

金利や社会的割引率を考えないとすると、補修はタイミングに関係なく工法が同じであれば同じコストとしてライフサイクルコストにカウントされます。しかし、劣化して性能が低下した構造物を長く使えば使うほど、破壊確率はどんどん増えてきます。つまり、地震や台風に遭遇する確率が増えてきます。それをコストに置き換えれば、ライフサイクルコストは上昇します(図表 3-40)。この損失も考えて、最適な補修タイミングを決めなければいけないということになります。



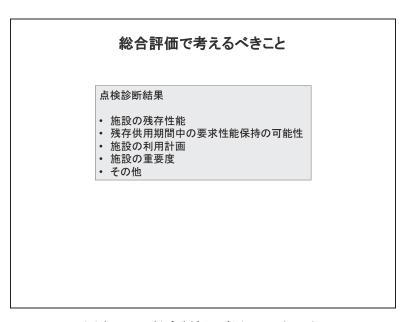
図表 3-40 桟橋における LCC の算定事例

図表 <sup>3-41</sup> は、いろいろな構造物に対して、年破壊確率のレベルがどれぐらいあるかということをまとめたものです。伊勢湾台風のときには 4000 人ぐらいの方が亡くなったということですので(図では 4000 人となっていますが、実際には 5000 人を超える方が犠牲になっています)、破壊確率はこのくらいのレベルです。現状では、破壊確率を示して設計するということは一般的でありません。港湾や海岸の構造物は、このような点線で示す範囲にあてはまるかと思いますが、どれぐらいの破壊確率にとどめておかねばならないかということは、今後の維持管理上の課題ではないかと思います。



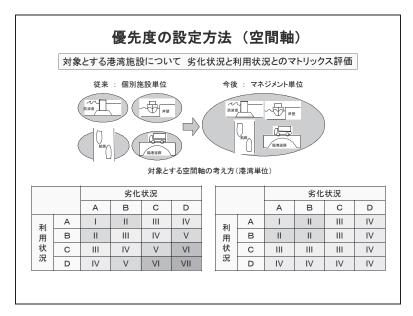
図表 3-41 他の災害や社会的リスクによる社会的損失との対比

最終的に総合評価する場合には、点検診断結果に加えて、今申し上げたコスト、あと何年使うのか、それから、この施設は本当に機能上足りているのか、といったことを考えなければなりません(図表 3-42).



図表 3-42 総合評価で考えるべきこと

次に、一つの港にたくさんの施設がある場合に、どういう優先順位で補修をしていくのかということの優先順位付けが重要です(図表 3-43).



図表 3-43 優先度の設定方法(空間軸)

一例として,ある港にバース(岸壁)が7つあり,それぞれこのような使われ方をしているとします(図表 $^{3-44}$ ).

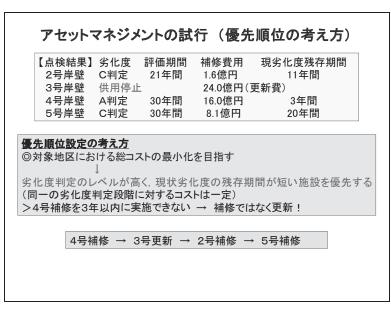
背後利用	AA埠頭	BB冷蔵	3冷蔵 CC物流総合センター		DD水産	EE運輸	FF倉庫
係留施設	1号 岸壁	2号 岸壁	3号 岸壁	4号 岸壁	5号 岸壁	6号 岸壁	7号 岸壁
バース延長(m)	240	240	240	240	240	240	240
バース水深(m)	12	12	12	12	12	12	12
<b>溝造形式</b>	矢板式	矢板式	桟橋式	桟橋式	桟橋式	桟橋式	桟橋式
建設年次	1972	1976	1980	1985	1985	1987	1990
経過年数(2005年時点)	33	29	25	20	20	18	15
劣化度(総合評価)	D	С	AA	А	С	D	D
遷移確率(詳細点検)	0.01	0.05	0.15	0.15	0.05	0.01	0.01
利用度相対評価	В	С	А	В	В	В	В

図表 3-44 アセットマネジメントの試行(モデル地区)

劣化の状態も、このように、非常に劣化しているところもあれば、劣化していないところもあります。3号岸壁は、利用度がAと高いのですが、劣化度がAAということで、かなり危ない状態になっており、供用が停止されています。次に4号岸壁は劣化度がAで、利用

度が B です. このような施設の状況である場合に、どういう順番で補修すると最も効果的かということを考えます.

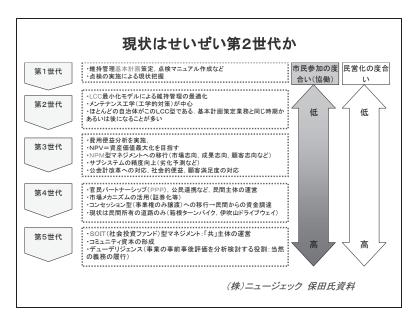
その結果,何も考えないで劣化の激しい順番に補修をした場合に比べて,きちんと劣化進行(性能低下)の予測をして,最適のタイミングで補修をしますと,補修の順番が変わり,コスト的にもこれぐらい変わります(図表 <sup>3-45</sup>).この優先順位付けの方法については,まだ研究途上であり,今後精力的にやっていかなければいけないと思います.



図表 3-45 アセットマネジメントの試行(優先順位の考え方)

最後にまとめたいと思いますが、今、港湾や海岸で行っているインフラマネジメントというのは、維持管理の基本計画を作りましょうとか、ライフサイクルコストの最小化を図りましょうというような段階で、まだまだ熟度としては低いと言えます。図表 3-46 の第 1 世代あるいは第 2 世代に相当します。まだあまり考えられていないと思いますが、資産価値を最大にするにはどういうマネジメントしていけばいいかとか、ニューパブリックマネジメント (NPM) といって、市場の志向や顧客の志向を考えてどういうマネジメントしていけばいいかとか、といったような段階もあります。港湾や海岸の施設は社会基盤ですから、顧客の満足度を評価するかというのは難しいのですが、次はこのような流れにいかなければいけないかもしれません。また、国や地方公共団体が造った施設をそれらの技術者が管理するだけではなく、一般市民の方々にも維持管理のある部分については負担していただこう、ということも必要になってきます。こうなれば、市民が社会基盤施設と触れ合う度

合いがかなり濃くなっていきます. 社会基盤施設の真のマネジメントができるのではないかと思います.



図表 3-46 現状はせいぜい第2世代か

最後に、図表  $^{3-47}$  のようにまとめまして講演を終わらせていただきます。ご清聴ありが とうございました。

# まとめ これからの維持管理のキーワードは長寿命化 ・長寿命化の手段は「予防保全」 そのために必要な技術開発と人材育成 ・損傷診断から性能診断へ ・マネジメント手法の導入で戦略化と説明責任 ・責任技術者の育成と専門家による支援体制 予防保全は地元の事業 ・予防保全は「小規模」で「継続的」事業 ・身近でこまめな対応が 長寿命化は環境保全にも貢献 ・建設廃棄物の増加と省資源

図表 3-47 まとめ

(司会) まだまだご意見,ご質問等があるかと思いますが,ここで横田先生のご講演を終わりとさせていただきます.横田先生,どうもありがとうございました(拍手).

# 4. 「東京国際空港再拡張プロジェクト」 講師 梅山 和成(国土交通省 関東地方整備局 副局長)

### 【略歴】

1980 年 運輸省入省

1993年 港湾局海岸・防災課補佐官

1995年 第三港湾建設局 大阪港湾空港工事事務所長

1997年 港湾局監理官

1999年 第二港湾建設局 工務第一課長

2001 年 関東地方整備局港湾空港部 港湾空港企画官 国土交通省政策評価企画官

2002年 国土交通省大臣官房公共事業調査室長

2003 年 国土交通省港湾局環境·技術課港湾情報化推進室長

2004年 国土交通省道路局国道・防災課道路防災対策室長

2006年 国土交通省港湾局振興課長

2008年 国土交通省関東地方整備局 副局長 (現在に至る)



### 4-1 紹介と概要

(司会) 続きまして、梅山和成先生に「東京国際空港再拡張プロジェクト」につきまして、ご講演いただきます。梅山和成先生は、昭和55年運輸省に入省され、その後、国土交通省政策評価企画官、公共事業調査室長、また道路局、港湾局振興課長などを経て、平成20年8月から関東地方整備局副局長をお務めです。それでは梅山先生、よろしくお願いい

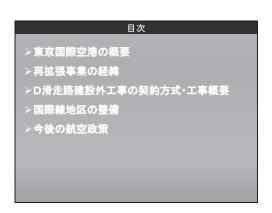
たします.



図表 4-1 タイトル

(梅山) ご紹介いただきました関東地方整備局の副局長の梅山と申します。今年の8月に関東地方整備局に参りました。本日は、先ほどの横田先生と同期入省ということもあって、羽田の再拡張プロジェクトについて少し話をしてほしいというご依頼があり、こういう機会を設けていただきました。今、このプロジェクトはちょうど工事が佳境に入っているということで、本日はその概要についてご紹介させていただきたいと思います。

主に東京国際空港の概要,再開発事業の経緯, D滑走路の工事概要,それから国際線地区といって,モノレールから行くとちょうど左手の方に見えてくる地区についてご紹介させていただき,最後に航空政策を少しご紹介させていただきたいと思います.



図表 4-2 目次

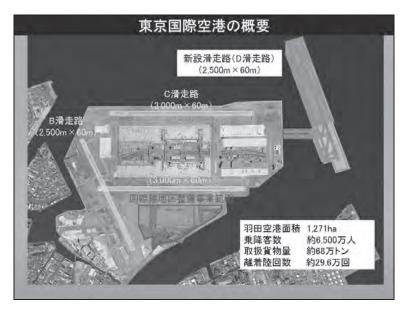
### 4-2 東京国際空港の概要

図表  $^{4-3}$  は東京国際空港の現在の概要です.今は A 滑走路,C 滑走路,B 滑走路と,3 本の滑走路があります.そして,ターミナルが 2 つあり,ご存じのとおり,第 1 旅客ターミ

ナルは主に JAL が使っていて、第2ターミナルは ANA の使っているターミナルです. それから、チャーター便が飛んでいる国際線のターミナルがあります.

アクセスとしましては、主にモノレールがずっと入ってきまして、第1ターミナルを経 由して、第2ターミナルに行って終点になるというものと、京浜急行が蒲田の方からずっ と入ってきまして、真ん中のところに羽田空港の駅があります。それから、首都高速の湾 岸線がちょうど空港の真ん中、この両ターミナルの間に通っています。

これに対しまして、今日ご紹介しますのは、いわゆる再拡張事業で、延長 2500m の滑走路を新たに1本整備するというものです。もう一つは国際線地区の再整備事業といいまして、これから成田を補完するような形で羽田にも国際線を増やしていくというものです。滑走路ができますと容量が増えますので、それに対応して新たな国際線地区を整備していくということです。空港全体の面積は 1270ha です。千代田区の面積が千百幾らぐらいですので、全体で千代田区より少し広いぐらいの面積というイメージです。



図表 4-3 東京国際空港の概要

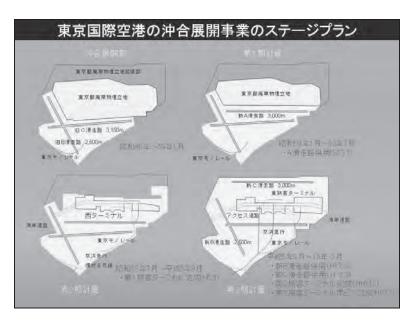
次に、沖合展開事業のステージプランを幾つか書いています (図表 <sup>4-4</sup>). 羽田空港の沖合展開は古くから進められています. 右上が昭和 59 年に進められた第 1 期計画です. そもそも、どんどん航空需要が増えてきたということで、その需要になるべく追い付いていくように容量を確保するというのが第 1 の目的です. もう一つは、滑走路をなるべく沖合の方に出し、騒音等の環境対策をよくしていくということが第 2 の目的です. それからも

う一つは、モノレールや京浜急行、あるいは湾岸線等といったアクセスについて順次改良 していく、大きくいってこの3つを目的としながら、急増していく需要に対応すべく、拡 張事業を進めてきています。

左上がその前で、滑走路がこういう形で 2 本ありました。それに対して、第 1 期計画を昭和  $59\sim63$  年にかけて行い、その結果として新 A 滑走路を供用しています。容量としまして、当時この段階で年間発着回数が 16 万回でしたが、新 A 滑走路を整備することによって、おおむね  $18\sim21$  万回まで増えました。

さらにその後、昭和63~平成5年にかけて第2期計画を進めています。このときは、今の第1旅客ターミナルを整備しました。ですから、この平成5年段階でよくいわれたのが、「BIG BIRD」といわれているターミナルが完成したこと、それからモノレールも延伸して、この中に入ってきたというのがこのときの拡張です。このときには、容量としては年間21万回となっています。

さらに第3期計画としまして,第1ターミナルの沖側に新たに新C滑走路の整備を,平成 5~18年にかけて行っています.その間,新C滑走路は平成9年に供用しています.

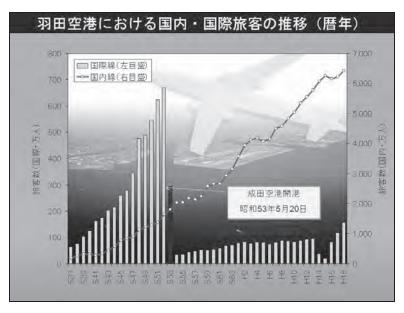


図表 4-4 東京国際空港の沖合展開事業のステージプラン

それから B 滑走路も少し移動して、新 B 滑走路は平成 12 年に供用しています。それから、 平成 10 年には京浜急行がターミナルまで乗り入れをしています。第 2 旅客ターミナルが平 成 16 年 12 月に完成したということで、この段階で容量としては年間 29 万 6000 回に増え これが現状の基本的な姿です.

それに対して、図表 <sup>4-5</sup>が利用・需要の今までの動向です.目盛りがそれぞれ国際線・国内線と分かれていますが、赤が国内線です.右肩上がりで需要が急ピッチで増えていると言っていいかと思いますが、目盛りとしては右側の方を見ていただきまして、現段階では大体年間 6500 万人の利用者がいるということです.国際線の方は左の目盛りになりますが、ずっと増えており、ピーク時、昭和 52 年、成田空港が開港する前には年間 600~700 万人ぐらいの利用者がいました.その後は成田の方に移り、一部の便だけが残ったということで利用が減っていますが、最近またチャーター便を運用するようになったということで、今、百数十万人の方が利用されています.

いずれにしても、国内線の需要もまだまだ容量が不足していますし、また成田でも手いっぱいですし、もう少し近いところで国際線を飛ばしてほしいという要請が非常に強いということで、今申しました再拡張事業を実施しているということです。



図表 4-5 羽田空港における国内・国際旅客の推移(暦年)

図表 <sup>4-6</sup> は世界の主要空港の利用者数です.これは国際・国内を問わず,乗降客数の多い順番に並べています.第 1 位はアトランタのハーツフィールド,それからシカゴ・オヘア,ロンドン・ヒースローということで,その次に日本の羽田が位置していますので,世界的に見ても利用者の非常に多い空港になっているかと思います.成田空港は下の方に書いてありますが,少し順番を飛ばしています.ニューヨークの JFK が 15 位で 4300 万人ですが,

成田は23番目ぐらいで3500万人ぐらいの方が利用されています.

						乗障容	数(千人)
都市·空港名	国名	2006年		2005年		2004年	
アトランタ・ハーツフィールド	米国	1	84.847	1	85,907	1-3-	83,507
シカゴ・オヘア	米国	2	77.028	. 2	76,510	.2	75,534
ロンドン・ヒースロー	英国	3	67.530	3	67,915	3	67.344
東京·羽田	日本	4	65,811	4	63,282	4	62.291
ロスアンゼルス国際	米国	5	61.041	- 5	51.489	5	60,589
ダラス・フォートワース	米国	6	60,226	18	59.176	6	59,412
パリ・シャルルドゴール	仏国	7	56,850	7	53,798	7	51.260
フランクフルト・マイン	独国	8	52,811	8	52,219	8	51,098
北京-首都	中国	9	48.655	15	41,004	20	34,883
テンパー国際	米国	10	47:325	-11	43,388	10"	42.894
ラスペガス・マッカラン	米国	11	46,193	10	43,990	11	41,442
アムステルダム・スキボール	オランダ	12	45,066	9	44.163	9	42,541
マドリッド・バラハス	240	13	45,501	12	41,940	13	38,705
香港国際	中国	14	43,858	16	40.270	17	36.712
ニューヨーク・JRK	米国	15	43.762	13	41,885	15	37.518
東京・成田	日本	23	34,975	27	31,451	25:	31,057

図表 4-6 世界の主要空港

### 4-3 再拡張事業の経緯

再拡張事業に関するこれまでの主な経緯を簡単にご説明させていただきます (図表 <sup>4-7,8</sup>). 今申しました需要増に対応していくということで、首都圏第 3 空港調査検討会が平成 12 年 9 月に設置されています. これは必ずしも現空港を拡張するということだけではなく、むしろ新たな第 3 空港を首都圏、東京湾、あるいはその内外に設置することを検討するためのものでした. その後いろいろ検討を進める中で、平成 13 年 7 月にはこの中で「再拡張を優先して推進することが適当」とされ、その後 13 年 12 月に基本的な考え方を国土交通省が発表しています. そこで再拡張が正式にうたわれたということです.

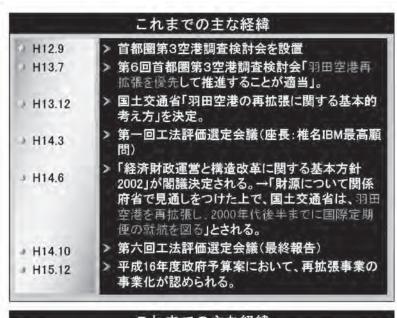
その後、工法につきまして、当時はいわゆる埋め立て、あるいは桟橋構造、フロート(浮体)構造、いろいろな構造形式が考えられるということで、それに関する選定会議が IBM の椎名最高顧問を座長として設けられました.そして14年6月に、政府の閣議決定として、

「羽田空港を再拡張して,2000年代後半までに国際定期便の就航を図る」ことが正式に決められました.

その後, 平成 15 年 12 月には 16 年度の予算案において正式に事業化が認められ, 16 年 3 月には, 自治体から無利子貸付をしていただいて事業を進めるという, 財源措置に関する

特別措置法が公布・施行されています. 16年6月には、設計・施工一括方式を打ち出した 入札の実施方針を発表し、その後、入札公告の実施、それから環境影響評価方法書の公告 が行われています.

一方, コストの縮減について第三者委員会から意見をいただくということで, 飯島東レ 特別顧問を座長とする委員会が設置されています.



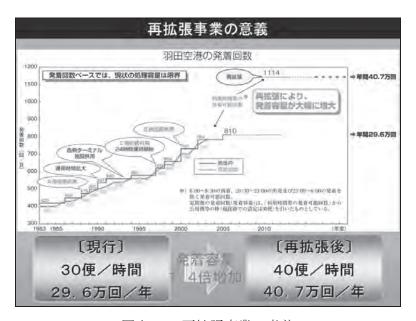
これまでの主な経緯			
H16.3	>「東京国際空港における緊急整備事業の円滑な 推進に関する特別措置法」公布・施行。		
⊁ H16.6	> D滑走路工事の入札実施方針を公表(設計・施工 一括方式)。		
→ H16.7	> D滑走路工事の入札公告の実施。		
→ H16.10	> D滑走路事業に係る環境影響評価方法書を公告		
→ H16.10	> 第一回コスト縮減検討委員会(座長:飯島東レ特 別顧問)		
→ H16.12	> 平成17年度政府予算案において、国際線地区整 備等事業について事業化が認められる。		
H17.3	> D滑走路工事に係る工事請負契約の締結。		
→ H17.5	> 第一回技術検討委員会(座長:石原東大名誉教 授)		

図表 4-7,8 これまでの主な経緯

その後、平成17年3月に工事請負契約が締結されました。そして、先ほどのコストと同様、第三者からのご意見をいただくということで、技術検討に関しまして、東大の石原研

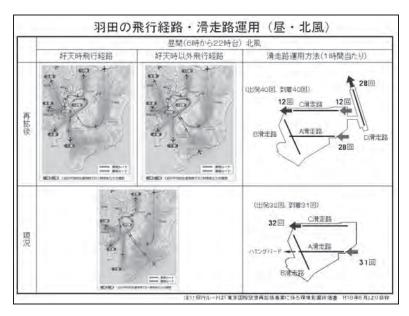
而名誉教授を座長とする検討委員会が設けられています. その後,昨年3月30日に現地 着工に至ったということです.

図表 <sup>4-9</sup>には「再拡張事業の意義」と書いてあります.このグラフは一番左が 1983 年ですが,これまでの羽田における発着回数です.現時点での利用可能な発着回数は年間で 29.6 万回となっていますが,新たな滑走路などを整備することによって,40.7 万回,約 1.4 倍に増加していくという計画になっています.



図表 4-9 再拡張事業の意義

図表  $^{4-10}$  は、拡張した場合と現在の、それぞれ滑走路の運用について簡単に書いたものです。この図は昼間で北風が吹いている場合を書いています。北風が吹いている場合には、沖側の  $^{\rm C}$  滑走路からの離陸が  $^{\rm 1}$  時間に  $^{\rm 32}$  回、それから、 $^{\rm A}$  滑走路の方からの着陸が  $^{\rm 1}$  時間当たり  $^{\rm 31}$  回、これが容量だということです。



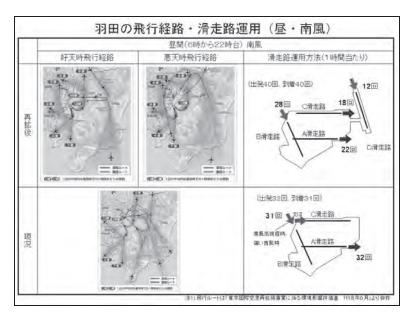
図表 4-10 羽田の飛行経路・滑走路運用(昼・北風)

なるべく騒音を減らすという意味で、騒音の大きい離陸を沖側にして、相対的に騒音の影響の小さい着陸側に A 滑走路を使うという運用になっています。着陸時には、千葉の上空で飛行機を順番に並べて、順次、おおむね 2 分間隔で着陸してきます。離陸する場合には、北側に飛んでいき、北方向へ行くのはそのまま、南あるいは西に行くものはこういう形で離陸していきます。これもおおむね 2 分に 1 回ぐらいの割合で離陸していくことになっています。

再拡張しますと、2 本ずつの滑走路を使うことになり、離陸につきましては C 滑走路と新滑走路から離陸していくということで、それぞれ 12 回と 28 回ということになります。主に北側に向かっていく飛行機は C 滑走路を使って離陸していくことになりますし、西側等に行く便につきましては主に新滑走路、D 滑走路を使って離陸し、そこから分かれていくというような形の運用になります。時間当たり、離陸側で 40 回、着陸側で 40 回となり、80 回程度ということですので、これは先ほど申しました年間の容量と同じ、大体 1.4 倍ぐらいの飛行機が離着陸できるようになります。

図表  $^{4-11}$  は,逆に南風が吹いた場合です.ほぼ同様のことになりますが,現在ですと南風が吹いた場合には,A 滑走路から離陸していき,沖側の方を使って着陸してくることになります.時間当たりとしては,それぞれ  $^{31}$  回と  $^{32}$  回ですので,時間当たり  $^{63}$  回ぐらいの容量になっています.一方,新滑走路ができますと,これもまた  $^{2}$  本の滑走路を使うことになり,離陸については  $^{4}$  A と  $^{2}$  と  $^{2}$  本使っていくということで,時間当たり  $^{40}$  回,着陸

の方は B と D を使っていくということで時間当たり 40 回, この場合も 1.4 倍ぐらいの容量 増になっていくということです.



図表 4-11 羽田の飛行経路・滑走路運用(昼・南風)

図表  $^{4-12}$  が再拡張事業の概要です.大体今申し上げたとおりですが,新たに D 滑走路を整備していくということと,南側に国際線地区を整備していくということです.

左の方に若干財源スキームを書いてあります。全体の事業費が 5985 億円で、そのうちの約 2 割について、地方公共団体から無利子で調達するということで、先ほど言いました特別措置法が制定されています。残りの事業費については、総額、おおむね国費です。それから財投を 3 対 5 の割合で手当てしまして、事業をしていくことになっています。

それから、ここの事業そのものにつきましては、いわゆる基盤部分、インフラの部分については関東地方整備局の東京空港整備事務所が担当して、桟橋、埋め立て、それから滑走路の整備を行っています。それから、灯火や無線、航空機の誘導施設などは東京航空局が整備するということで、いわゆる国の直轄事業として整備しています。これも従来からの沖合展開事業と同じような方式ですべてやってきたということです。

若干毛色が違うのは国際線整備地区で、ここでは PFI 事業を導入しています. 旅客ターミナルビル、貨物ターミナルビル、それからエプロン、この3つを、民間の資金を導入することによって、民間が主体となって整備する方式をとっています.



図表 4-12 羽田空港再拡張事業の構成

### 4-4 D 滑走路建設外工事の契約方式·工事概要

図表 <sup>4-13</sup>は D 滑走路建設外工事の契約概要です. 平成 17 年 3 月に契約し, 平成 19 年 3 月から現地で工事に入っています. 約 1 年半前になります. 先ほど申しました設計・施工一括方式で行っており, 15 社から建設工事共同事業体を形成しています. 工法としては, 埋め立てと桟橋の組み合わせ, 全体金額は 5985 億円です.



図表 4-13 D 滑走路建設外工事の契約概要

その特徴が幾つか図表 <sup>4-14</sup> に書いてあります. 工法評価選定会議の結論を踏まえてセットしたもので、性能発注だということ、設計・施工一括方式だということ、施工段階だけではなく、維持管理段階においても担保していくということです. 設計に関するリスクは、一括方式ですので、受注者側が負担していくということ、それから瑕疵担保についても、通常 2 年のところが 10 年となっています. 請負者は完成後 30 年間、維持管理業務を行う義務を負うことになっています.

工法評価選定会議の	吉論を草重
性能発注	○性能要件を示し、それを満たす技術提案に基づく内容を認める ○工法選定会議を検討された異なる工法での入札参加が可能
	○設計段階での上期・上費を施工段階及び維持管理段階において も担保させる
	〇設計に起因するリスクは請負者が負担
明底担保	□ □ 野鹿担保責任 10年 (通常は2年) ・ 財鹿担保保証 10% ( " なし)
維持管理契約特別	〇請負者は完成後30年間。維持管理業務を行う義務を負う
程合評価券札方式 の採用	○ライフサイクルコストを考慮し、国として最も有利な提案で契約を結ぶため、従コスト(設計・施工入札価格+30年間の財情管理費用)の混低のものを落札者とする。
VEの四人	〇零業のあらゆる段階でのコスト審減を可能とする
J ∨構成要因 (競争参加資格)	○大規模な空港建設工業の履行期間内での安全、確実な施工を担保 するためのより構成要件を設定 異工種建設共同企業株 5工種から構成 構成国数 8~15社

図表 4-14 D 滑走路建設外工事の契約の特徴

それから,30年間にわたるライフサイクルコストを考慮し,国として最も有利な形で契約するということで,設計・施工の入札価格,30年間の維持管理費用を合わせまして,最低のものを落札者とするということです.

それから、事業のあらゆる段階でコスト縮減を図るため、VE を導入しています.

図表 4-15 が D 滑走路の工事の概要です. 滑走路は 2500m です. 空港の島としては, 両端を含めて 3120m となっており, そのうち埋め立て部分が 2020m, 桟橋部分が 1100m です. それから連絡誘導路としての桟橋があります. これはちょうど空港の南側に多摩川がありますので, 多摩川の通水部を確保するために, この部分については埋め立てではなく, 桟橋構造にし, そこから外れた区域については埋め立てで行うというハイブリッド構造になっています.

水深は 12~20m ぐらいです. ここは東京港に入っていくコンテナ船の航路で, ちょうど

前面を通って東京港に入港していくという場所に位置しています. それで,進入表面を避けるためのクリアランスを確保していくために,航路を少し沖側に振るような形で,航路の付け替えを行っています.

それから, 施工そのものにつきましては, 24 時間・365 日体制で, 休みなく実施しています.

航路の関係もあり、滑走路部分の地盤が少し高くなっています。例えば既存の羽田空港では AP+7.3m というものが、AP+17.1m、AP+15m ということで、少しかさ上げをしたような設計になっています。



図表 4-15 D 滑走路の概要

図表 <sup>4-16</sup> は航空に関する制限表面です。細かい話は避けますが、ちょうど新滑走路の前面に C 滑走路があり、ここから進入してくるということで、ここでちょうど交差する形になっています。それから A 滑走路についても、工事によっては、進入表面、水平表面、転移表面というものがどうしてもかかってきます。工事を短期間でやるということに関しては、この部分が非常に施工上の制約になっているということです。



図表 4-16 制限表面

図表 <sup>4-17</sup> は埋立部の概要で、長さがおおむね 2000m、幅が約 500m という延長になっています。構造としましては、基本的には地盤改良を行って、その上に築堤を行い、それから捨石をして、ブロックを積み上げるということで護岸を造っていきます。そして、中の方を埋め立てていくというような構造の形式になっています。

現在の進捗状況ですが、築堤1については100%終わっています.この上の捨石も81%と 書いてありますが、ほぼ終わっています.



図表 4-17 埋立部

それからブロックの構築を進めていますが、そこまで積み上がると大体こういう形のものが出来上がるわけですが、この外周全体につきまして、ほぼ現時点では概成しています. 一部、将来の工事のために開けておく開口部やケーソン部がありますが、いわゆる捨石部分につきましては、ほぼ出来上がっているような段階になっています.この部分については、面積としては  $95~\mathrm{Tm}^2$ 、埋め立て土量としては  $3800~\mathrm{Tm}^3$ 、このような大規模な工事になっています.

図表 4-18 がその工事の当時の写真です.これが地盤改良する船です.コンパクション船ですので、砂杭を打つための高い構造になっています.これ自体が 60m とか 80m ぐらいの高さになっていますので、これが先ほど言いました航空機の入ってくる表面に全部引っ掛かってしまうことになります.このあたりはほとんど C 滑走路の前面に当たりますので、この部分の地盤改良は昼間は全くできません.すべて夜間作業になるということで、夜間に地盤改良を行っています.砂杭自体も最大 40m ぐらいのものを打ち込むということで、夜間で急ピッチにやる必要があり、この狭いエリアに最大 13 隻のサンドコンパクション船を置いて、急ピッチで工事を進めました.地盤改良については今年の 3 月、着工後おおむね 1 年で完了しています.

その後、築堤・捨石の工事に入っています。おおむね概成しまして、「秋・護岸概成」と 書いていますが、既に先月の終わりごろに概成を完了しています。

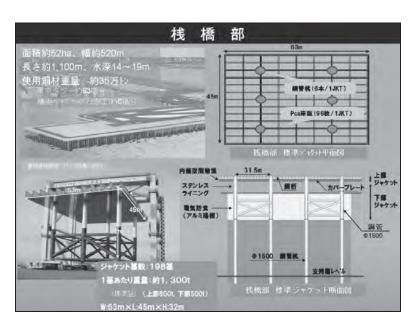


図表 4-18 埋立部 (写真)

次に図表 <sup>4-19</sup> が桟橋部の方です. 桟橋部はジャケットといわれる方式になっており, 左下が一つのジャケットです. 63m×45m×32m という大きさのジャケットで,上に鋼板があり, その中に 6 本の柱が立っているという構造になっています.

現場の方では、この6本の位置に杭をあらかじめ打っておきます。この杭が80~90mぐらいの深さになるわけですが、それを基礎の地盤まで打ち込んで、その杭の上からジャケットを下ろしていって設置していきます。1基当たりの重さが1300トンで、使用するジャケットは全部で198基となっています。

それから、海上に構造物を設置するということで、腐食対策というのが大きなテーマです。その点については、水中部については電気防食、上部については鋼管の上にステンレスを被覆しています。それから、上部の鋼材の下にはチタンで被覆をして、長期間の腐食対策を実施しています。



図表 4-19 桟橋部

図表 4-20 は製作の流れですが、先ほどのジャケットを上部と下部に分けて製作して、最終的にそれをくっつけて出荷するという方式で実施しています。上部につきましては、北九州の若松工場、三重県の津製作所、横浜製作所の3カ所で製作し、それを海上で輸送して、最終的に千葉ヤード、富津ヤードの2カ所に集め、ここで作製していた下部とくっつけて、最終的にジャケットを造っていくという段取りで進めています。右下がほぼ一体化したジャケットです。



図表 4-20 桟橋部(製作の流れ)

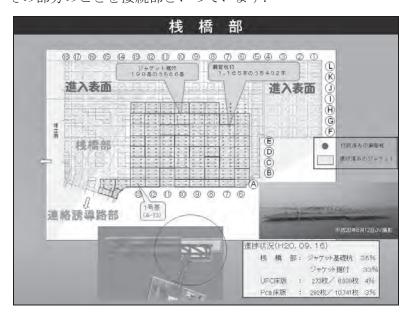
図表 <sup>4-21</sup> がそのときそれぞれの施工の様子です.左上はジャケットを設置するための鋼管杭を打設しているところで,長さ 80~90m ぐらいです.それが打ち上がった状況が右上で,1 基分で 6 本の足があります.それから,富津や千葉で造ったジャケットを海上で運搬し,現地に持ってきまして,左下のような形でクレーンで吊りながら下ろしていって,先ほどの杭の上に入れていくという形で設置していきます.



図表 4-21 桟橋部 (施工の様子)

図表 4-22 が現在の桟橋の進捗状況ですが、大体こういう形で出来上がりつつあります。 右下に進捗状況が書いてありますが、基礎の杭としてはおおむね 35%、ジャケットは 198 基据え付けるわけですが 33%、約 3 分の 1 ということで、これは 9 月 16 日現在ですので、 今はもう少し増えています。大体週に 2 基ぐらいのペースで、ジャケットを現場に設置しています。ざっくりいいますと、この部分については 3 分の 1 ぐらい出来上がってきているという感じです。右の写真が、現場で設置が終わっているジャケットの様子です。

次が接続部で、下の図で説明しますと、ここが埋立部、ジャケット部、桟橋部になるわけですが、連絡誘導路があり、埋立部と桟橋部にちょうど接続する部分がどうしても必要になります。その部分のことを接続部といっています。

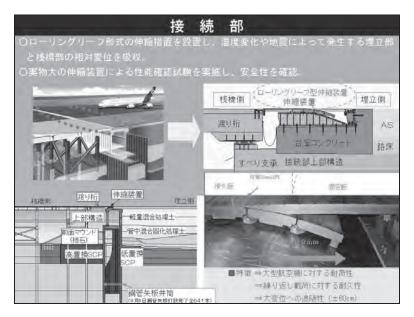


図表 4-22 桟橋部(進捗状況)

図表 4-23 が接続部の概要です。接続部は施工上なかなか難しい場所になります。どうしても埋め立て側の方は沈下します。埋め立てそのものは、全体として 8m ぐらい沈下するのではないかという予測になっています。工事期間中におおむね 7m ぐらい沈下し、その後、非常に長期間かけて 1m ぐらい下がっていきますので、そこは余盛りをする形で調整しながらやっていきます。

一方、桟橋部の方は基礎まで杭を打っていますので、ほとんど沈下しないということになります。いずれにしても移動する、伸縮したりすることになりますので、そこの間をつなぐために、こういう構造の伸縮装置でそこのずれを吸収するような形になっています。 プラスマイナス 600mm に対応できるようにしてあり、当然のことながら、大型航空機に対 する耐荷性,あるいは繰り返し載荷に対する耐久性,それから大変位に対する追随性が必要になってきます.

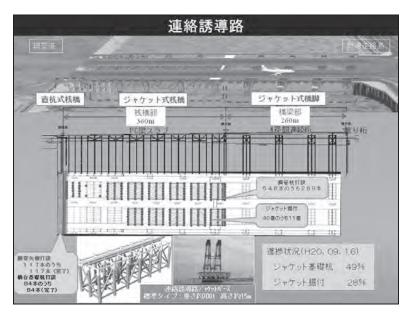
それから、なるべく埋め立て側の、近傍の沈下を少なくしていくということで、セメントと混合して固化した処理土(管中混合固化処理土)、あるいは軽量混合処理土などで埋め立てを行うことによって、沈下量を抑えるということも行っています.



図表 4-23 接続部の概要

それから、最後に滑走路と現空港の間の連絡誘導路です(図表 4-24). これは橋のようなものが2本くっついています. D 滑走路に入っていく側, 出ていく側ということで, コストを下げるという意味で, この間は水面で, 2 本のものがそれぞれ別にあるという桟橋の構造になっています.

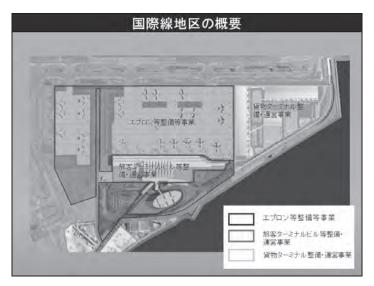
それから構造,ジャケット式桟橋部,ジャケット式橋脚という2つに分かれています. ここは下側を通れるような形で設計しています.現在の進捗状況は,ジャケットの基礎部分については約半分,ジャケットは3割ぐらいのものが現地に設置されています.



図表 4-24 連結誘導路

### 4-5 国際線地区の整備

次に国際線地区の方にいきたいと思います。国際線地区の整備につきましては、大きく3つに分かれています(図表 4-25)。旅客ターミナルを整備するもの、貨物のターミナルを整備するもの、それからエプロンを整備するもの、この3つをPFI事業として実施しています。それから、ターミナルができるということですので、京浜急行に新たな駅ができます。それからモノレールも回ってきまして、新しい国際ターミナル用の駅ができることになっています。



図表 4-25 国際線地区の概要

図表 4-26 が 3 つの PFI 事業の概要です. 詳細は省略しますが, 旅客ターミナル事業につきましては, 現在の羽田の BIG BIRD を設置運営している日本空港ビルディングが代表企業となって, 東京国際空港ターミナル株式会社という SPC (特別目的会社)をつくり, 整備し, 運営していくことになっています. 貨物ターミナルについても SPC をつくり, 代表企業としては三井物産と, 関連企業で SPC をつくっています. それからエプロンにつきましては, 羽田空港国際線エプロン PFI 株式会社ということで, 代表企業として大成建設と, 建設関係の会社が出資して SPC をつくっています.

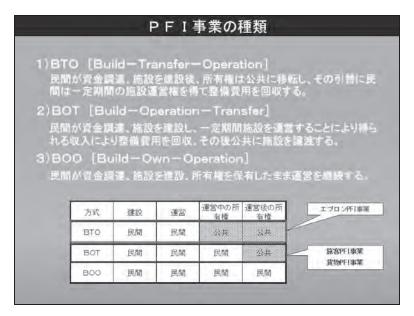
	旅客ターミナルビル 等 登備・運営事業	貨物ターミナル 整備・運営事業	五八四. **	
	東京国際空港ターミナル 株式会社		羽田笠港国際将エブロ。 PFI株式会社	
	○代表企業 日本空港ビルデングの ○構成目 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	○代表企業 三井物産側 ○協力会社 香港エアカーゴ・ターミナ しズ・リミテッド・日東ロ ジステックスの 例文 米級計・物質である。 中間で	(申、東亜温設工業(印)	
與約總結日	平成18年7月7日		平成18年3月24日	

図表 4-26 国際線地区整備等事業に係る事業契約概要

ご存じかと思いますが、PFIにはいろいろな方式があります(図表 <sup>4-27</sup>). 今3つ紹介しましたが、エプロンにつきましては、必ずしもそこから収益が上がるような事業ではありませんので、BTO ということで建設・運営は民間が行います. それから完成しますと、所有権は公共に移転していきます. かかる費用については、公共側が民間に支払っていく、建設費や維持管理費についても支払っていくという形ですので、いってみれば相当長期にわたる延べ払いのような形になります.

一方, 旅客ターミナルや貨物ターミナルについては, 施設そのものから収益が上がっていきます. これは BOT という方式になっており, 建設は民間, 運営も民間, それから運営中の所有権も民間というものです. 最終的には運営が終わったら公共に戻していくのですが, そういう意味では, 資金的には民間が自ら調達し, 運営することによってそれを回収

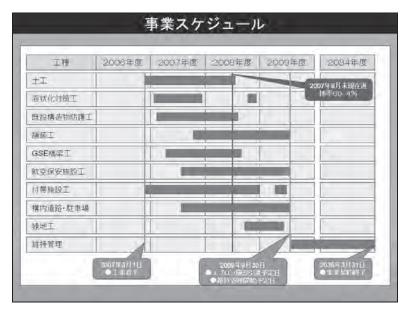
していくということで、Build、Operate してから、Transfer ということになっています.



図表 4-27 PFI 事業の種類

それから事業のスケジュールですが(図表 4-28),国際線地区もD滑走路と同様,2010年10月に最終的に供用していくということです。エプロンにつきましては,2009年9月30日に建設事業としては終了し、引き渡しをし、維持管理の方に入っていきます。維持管理としましては、最終的には2035年まで維持管理をするという契約になっています。

それからエプロンの整備事業では、液状化対策、地盤改良というのが一つの大きな特徴となっています(図表 4-29). もちろん地盤そのものが悪いので、どうしても地盤改良していかなければいけないというのですが、その際、この部分には既存の地下埋設物が結構たくさんあります。京浜急行も、もともとこの中を通っています。その上をエプロンで舗装し、重量物が載っかっていくという形になります。それから空港連絡道路もありますし、モノレールも来る、石油のパイプラインなども通っていますので、それぞれの状況に応じて、地盤改良のやり方を工夫しながらやっているという状況です。



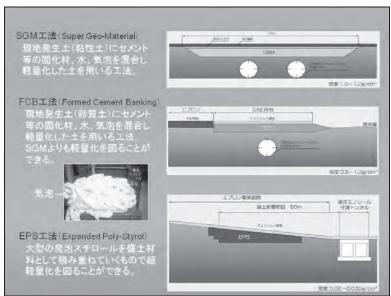
図表 4-28 事業スケジュール



図表 4-29 液状化対策工(地盤改良工)

詳しい説明は省略しますが、FCB 工法や EPS 工法、SGM 工法といったものを使いながら現在進めています(図表  $^{4-30,31}$ )。図表もその説明です。一番上は、京浜急行のシールドがこのように入っています。その上の舗装に関しての地盤改良工法として、SGM 工法を使っているということです。真ん中は、三菱石油のシールドトンネルがあり、それに対して FCB 工法を使っているということです。





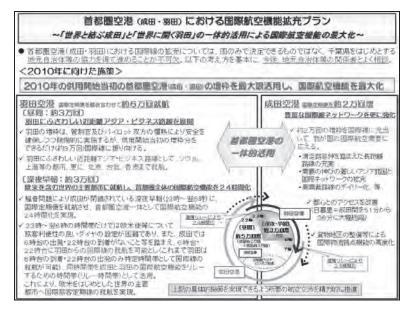
図表 4-30,31 既設構造物防護工

### 4-6 今後の航空政策

図表  $^{4-32}$ が、最終的にどうなるのかということです。離発着の枠が 29.6 万回から 41 万回に増えるということで、おおむね 11 万回ほど増えることになります。それをどのように使っていくかということですが、今の考え方としましては、6 万回分を国際に割り当て、残りの約 5 万回で国内線需要へ対応していくという考え方になっています。

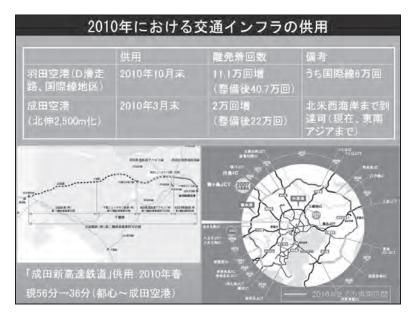
国際線で6万回増やすことになりますが、これは主に昼間が3万回、深夜早朝が3万回という計画になっています。昼間については、近距離アジア・ビジネス路線として、ソウ

ル,上海等,あるいはさらに北京,台北,香港という,アジアへのビジネス便を飛ばしていきます.深夜早朝は欧米を含む世界の都市に就航していくということですが,特に成田との関係では,成田も2010年の3月に滑走路を延長して,2500mにするということで,2万回ほど増えます.ただ,いずれにしても足りないということがあります.それから成田につきましては,夜11時~朝6時までの深夜早朝便については騒音の問題があって飛ばせないことになっていますので,深夜早朝便については羽田で受け持って,世界各国の都市に約3万回の枠を設定するという考え方になっています.成田と羽田で連携することによって,国際線の需要に対応していこうという考え方です.



図表 4-32 首都圏空港(成田・羽田)における国際航空機能拡充プラン

図表 4-33 に示すように、アクセスについてもいろいろなことがされています。今は京成電鉄で成田までおおむね 56 分になっていますが、一部区間の整備を行うことによってさらに短縮していくということで、これも 2010 年の春に開通する予定で今工事が進められています。右の方は圏央道や外環道の整備計画で、こういったものが整備されることによって成田へのアクセスも改善されていくことになります。



図表 4-33 2010 年における交通インフラの供用

説明は以上にしたいと思います. どうもご清聴ありがとうございました (拍手).

(司会) 梅山先生, どうもありがとうございました.

### 5. 閉会の挨拶

### 横田 弘

(司会) 最後に閉会の挨拶といたしまして, 横田 ICUS 客員教授よりご挨拶をいただきたいと思います.

(横田) 本日は皆さんお忙しいところをお集まりくださり、かつ最後まで熱心にご聴講くださいまして誠にありがとうございました。今日は「交通・物流拠点としての港湾・空港戦略」というテーマでプログラムを構成しましたが、目黒先生のお話によりますと、港湾や空港を切り口にしたオープンレクチャーは今回が初めてだということです。難波先生、梅山先生にそれぞれ港湾および空港の最新のテーマをご紹介していただきますとともに、私も研究的な立場から、タイムリーな問題である維持管理についての講演をさせていただきました。

本日の出席者名簿をざっと拝見させていただきますと、これまで毎回のようにご出席されている方もおられますし、今回、港湾・空港だということで、初めて来られた方もおられるかと思います。第 15 回目ということですが、年に 2~3 回ぐらいのペースでオープンレクチャーを開催しています。前回は地球温暖化や森林の話がありましたし、その前は危機管理ということでした。今後も幅広いテーマでオープンレクチャーを企画していくことになっています。一度この会に参加されますと、名前がデータベースに登録されて自動的に案内状が届きますので、時間の許す限りご出席くださり、活発にご議論いただければと思います。

また、ここのところをもう少し聞きたいということがありましたら、難波先生、梅山先生とも懇親会には出ていただけるようですので、この後の懇親会にもぜひご出席いただければと思います。

今日は大変長時間,お疲れだったと思いますが,重ねてお礼を申し上げまして,私の閉会の挨拶とさせていただきます. どうもありがとうございました (拍手).

## 第 15 回 ICUS オープンレクチャー (2008.10.6)

## 「交通・物流拠点としての港湾・空港戦略」

東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター センター長・教授 目黒 公郎

### 趣旨

港湾および空港は交通および物流の拠点として国家および地方の経済の要であるとともに住民の生活を担う重要なインフラである。今後、国際競争力の強化、港湾・空港を核とした地域の活性化、港湾行政のグリーン化、安全・安心の確保がますます重要になっている。

このような背景の下、我が国の港湾整備においては国際的な視点からの取り組みに加えて、地球温暖化への対策として物流の効率化への取り組みも加速させている。また、既存施設の有効活用と長寿命化を図るための施策と技術開発を進めている。さらに、効率的な空港機能の確保戦略に基づき、東京国際空港(羽田空港)の能力拡大を図っている。

今回の ICUS オープンレクチャーでは、交通・物流拠点としての港湾および空港の整備戦略とそれを取り巻く環境について議論する。

講師として、港湾計画の行政トップである国土交通省港湾局難波喬司先生、首都圏最大の空港の整備を指導する国土交通省関東地方整備局梅山和成先生、および港湾・海岸施設のマネジメントの第一人者である港湾空港技術研究所(ICUS 客員教授)横田弘先生をお招きし、現在およびこれからの港湾・空港戦略について議論を頂く。

### プログラム

司会 加藤絵万 (ICUS 協力研究員)

13:00~ 受付開始

13:30~ 開会の挨拶

目黒 公郎 (ICUS センター長/教授)

13:40~ 港湾を核とした物流システムの効率化を通じた環境負荷の軽減

難波喬司 (国土交通省港湾局計画課長)

14:40~ 休憩

15:00~ 港湾・海岸におけるインフラマネジメント

横田 弘(港湾空港技術研究所研究主監/ICUS 客員教授)

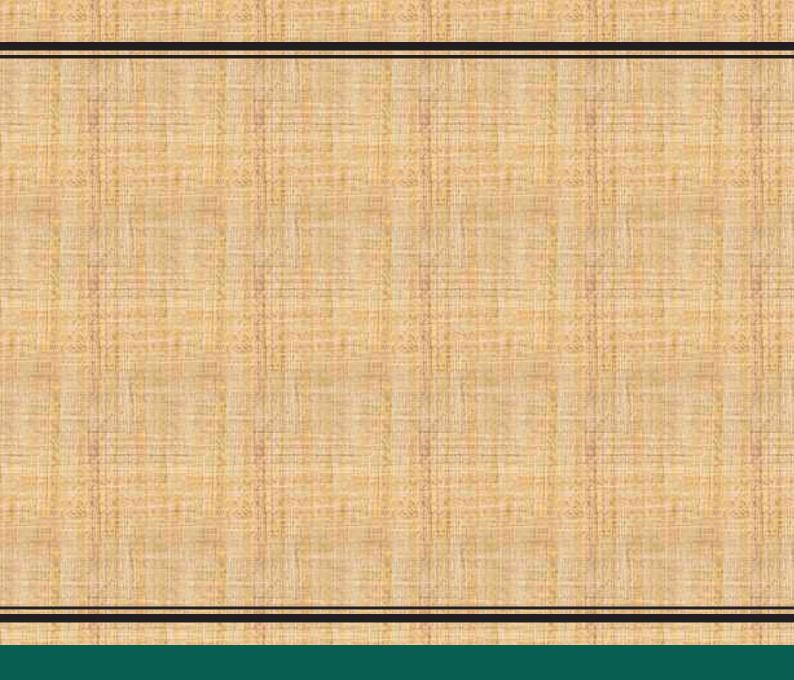
16:00~ 東京国際空港再拡張プロジェクト

梅山和成 (国土交通省関東地方整備局副局長)

17:00~ 閉会の挨拶

横田 弘(ICUS 客員教授)

17:30~ 懇親会



東京大学 生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター 〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp/ E-mail: icus@iis.u-tokyo.ac.jp

Tel: (+81-3)5452-6472

Fax: (+81-3)5452-6476