講 演 録

先進的海洋研究の我が国海運への活用可能性について

東京大学　大学院理学系研究科教授

山形俊男

（共同研究者: (独)海洋研究開発機構 宮澤泰正、ベヘラ・スワデイン）

（於．海運ビル 2 階「海運クラブ　ホール」）

平成 19 年 7 月 3 日（火）

《司会（財団法人日本海事センター 重冨企画研究部長)》

予定の時刻となりましたので、ただいまから講演会「先進的海洋研究の我が国海運への活用可能性について」を開催させていただきます。

皆さま、本日は大変お忙しいところ本講演会にお集まりいただきまして、誠にありがとうございます。私は、本日の司会進行を務めさせていただきます財団法人日本海事センター企画研究部長の重冨でございます。どうぞよろしくお願いいたします。

本日は講師に、東京大学大学院理学系研究科教授・副研究科長でいらっしゃいます山形俊男先生をお招きいたしました。

ここで私の方から簡単に山形先生のご紹介をさせていただきます。山形先生は、近年特に注目を集めている太平洋における「エルニーニョ現象」、「ラニーニャ現象」や、ご自身が世界で初めて発見し命名もされましたインド洋における「ダイポールモード現象」等の大規模海洋現象と異常気象の関係の研究などを専門とされている海洋気象学の世界的権威でいらっしゃいます。２００４年には、米国気象学会最高の名誉とされる「スヴェルドラップ金賞」を受賞されました。また、一昨年２００５年には、紫綬褒章も受賞されています。

本日は、世界最先端の海洋研究の現状をご紹介いただきますとともに、近い将来その成果を我が国海運が活用する可能性についてお話をいただきたいと思います。

講演は、およそ４０分間を予定しておりまして、その後、若干の質疑応答の時間を取りたいと思います。また、講演会終了後には、当ビル１階のレストランで簡単な懇親会も予定しておりますので、お時間のございます方は、是非そちらにもご参加いただければと思います。

それでは山形先生、どうぞよろしくお願いいたします。

《山形教授》

ご紹介いただきました東大の山形です。今日は、日本海事センターの講演会にお招きいただきましてどうも有難うございます。タイトルは「先進的な海洋研究の我が国海運への活用可能性について」ということでありますけれど、海運に限らず海事全般について話したいと思っております。

皆さん、あまり聞きなれない言葉とは思いますが、海洋物理学即ちフィジカル・オーシャノグラフィ（Physical Oceanography）というものは、これは国際的には非常によく知られておりまして、特に海軍が活発な所、米国とか英国とか、そういう所で

は非常に重要な学問とされています。ただ、日本の場合には戦後以降、あまり着目されておりません。したがって、本屋に行きましても、あまり海洋物理学の本は無いと思います。気象の本は沢山あるのですけれど、海の本はほとんどない。私なんかにも責任があるんですけれど、やることが沢山ありまして、とてもそういうことやっている暇が無いというのが、ある意味でエクスキューズですけれど、あります。

今日は、非常に簡単にそういう海の、特に海流のエッセンスをお伝えしたいと思います。海の研究は非常に最近進んできました。特にコンピューターを利用した研究、海の観測技術、リモート・センシング、現場観測、そういったものが進みまして、理学から、直接的に社会展開が可能になった、即ち、工学をある意味で飛ばして、理学から直接的に社会展開が可能になったということがあります。

世の中で MOT、Management of　Technology というのは有名ですけれども、私が言いますのは Management of Science and Technology、MOST、most important の most ということになります。今日は海流の予測技術と、特にフリークウェーブ、気まぐれ波といいますか、突然非常に大きな波が訪れるーこれは東大の早稲田先生が非常に活発にやっていますがーその辺の話を紹介させていただきます。

最後に、いろいろ海運とか海の安全・安心、漁業とかに、あるいは海のサステナビリティそういったものに、こういった理論が使えるんだということをご紹介して、話を終えたいと思っております。

＜山形俊男教授＞

海の重要性に関係しますが、最近メディアを賑わしていることに、すごく異常気象が多く、梅雨前線がなかなか北上してこない、ということがあります。これは、１つには日本近海の水温が低いということがあります。ということで、太平洋高気圧の北への張り出しが少し弱いということです。しかし、いずれ強くなるとは思います。

というのはですね、（**スライド P2**）この辺に非常に冷たい水温異常がありまして、ここに冷たいところがあり、こちらに温かいところがあります。これはラニーニャ現象が起きているためです。それが恐らくだんだん影響して、太平洋高気圧を強めるでしょう。ここのところをちょっと見ますと、少しぽちっと冷たいところが見えています。もっと違うデータをお見せしますと、この辺の白いところは、本当はブルーで水温が低いところなのですけれど。こちら側は黄色、水温が高いところで、このインド洋も東西に水温傾度が出来ていまして、去年に引き続きインド洋のダイポールモード現象が起きる気配がかなりあります。この下のほうは最先端の海洋と大気のモデルをくっつけまして人工地球を作り、初期のデータを入れます。そして未来の予測をやっているのですけれど、それによる今年９月から 11 月の予測です。そうしますと、この水温異常がもっと強くなりますよ。ラニーニャ現象がもっと強くなるだろう。ダイポールモードもかなり顕著にでるのではないかと。これは大気のほうも予測データがありまして、その場合に日本付近がどういう気圧の分布になるかと、雨がどう降るのか、そうしたことも出しています。今日はその話ではないのでやりませんけれども、こういう人工地球を動かして、いろいろやっているのです。私達がいろんなところで、こうなる、ああなると言っているのは、適当に言っているのではなくて、こういうものを動かしながら未来をある程度予測しているということです。しかし、まだまだ海のモデルも大気のモデルも、完全ではないのです。また、データも完璧ではない。それで、我々の経験的な知識、つまり過去の統計に基づいたものを織り交ぜてやっている段階です。天気予報で言うならば 1970 年代頃、いまから 30 数年―40 年近く前の状態なのかもしれません。これが季節予報の段階です。いずれにしても、そういったものも、海のモデルというものが進まないとできなかったわけです。

ここに簡単に、（**スライド P3**）海の、特に物理学の発展の歴史を書いてあります。ここにあるのは、熱帯海洋と全球大気研究計画と言いまして、1980 年代、82、3 年に発生した非常に大きなエルニーニョ現象などを受けて、85 年から 94 年の 10 年間で実施されました。エルニーニョ、これは大気と海洋の結合した現象なのですけれど、そういったものをきちんと測り、現象を理解し、そしてあわよくば、モデル化しよう

ということです。当時は理論もなかったものですから、我々もエルニーニョについて、数理科学の理論を作ったりしていたわけです。なお、その後、実際にフィールドプログラムも進みまして、その結果として太平洋には現在、約 70 台のブイが係留されています。リアルタイムでデータを送ってきていまして、そういったものを使ってさきほどの未来予測などに役立てているわけです。話は戻りますが、1980 年代の前半に非常に簡単なモデルが登場しました。このモデルは、我々が一番初めだったのですが、その後、もう少しお化粧をしたようなモデルが、コロンビア大学のマーク・ケイン、スティーブ・ゼービアックによって作られ、それで彼らが予測をやってみたのです。非常にシンプルなモデルですとデータが入らず、予測には使えないのですけれども、コンピューターに載るようなモデルでやると予測実験ができるということで、強引にやってみたわけです。そうしたら、86 年、7 年にエルニーニョが起きるという予想が出まして、それを『ネイチャー』に書いて、実際に 1986 年、7 年にエルニーニョがおきたものですから、爆発的な反響を得ることになったわけです。ペルーでは、エルニーニョが起きると、非常に乾燥しているところで雨が降り、普通は綿を作っているのですけれど、綿花は根が非常に深いところにまで伸びますので、非常に湿潤な状態になると、根腐れをするのです。それで、ペルーでは稲作、米作りに変えたのです。それが非常に当たりまして、大雨が降りまして、むしろ逆に農業生産高があがったのです。それで気候の研究者、海洋の研究者が非常に自信をもったわけです。必ずしもいつもそういうわけでもなくて、むしろ妙な予測をしたために「マン・メイド・ディザスター」、人為的災害が起こることもあります。

＜講演の模様（スライド P1）＞

こうした予測関係のシステムは、次第に理論だけではなくて、より大きなモデル、海洋の大循環モデル、気象の大循環モデル、そういったものに進み、それを結合したものに発展しています。一方でまた、現場観測も非常にテクノロジーが進んできたこと、それから計算機が非常に進んできたということが、1980 年代から 90 年代にありました。そういうブレイク・スルーのもとで、同時に環境問題に関する世界的な機運が盛り上がり、92 年に国連環境開発会議、この中のアジェンダ 21、17 章に海洋のことがきちんと書かれるようになったわけです。

同時に海洋法、即ち国連海洋法条約（UNCLOS）といったものも 1990 年代にかなり世界各国で批准されるようになり、日本も 1996 年に批准しました。海洋というものに対しての着目度がうんと上がってきた。その結果として今年度、海洋基本法も通ったということがあります。

そうなりますと、やはり全球の海洋をきちっと測ろうということになります。特にこれを最初に言い出したのは、マーガレット･サッチャーだと思います。1990 年代の初めのころに、私も政府間海洋学委員会（IOC：Intergovernmental Oceanographic Commission）に出席しました。IOC と言いますと、オリンピック委員会かと思いますが、そうではなくて、本当は重要な海洋の委員会なのですけれど、非常に低いレベルに置かれていまして、ユネスコの中にあります。本来は World Meteorological Organization（WMO：世界気象機関）と同じように、国連のもとに直接あるべきものですが、ユネスコの中にあるのです。こういう状態、これもいずれ改善しなくてはいけないと思います。ともかく、IOC で、「GOOS（Global Ocean Observing System：全球海洋観測システム）」、世界の観測ネットワークを実現させようという話が出てきました。こうした動きを母体にしまして、現在は地球観測サミット（Earth Observation Summit）のもとで、＜全球地球観測システムのシステム(GEOSS)＞に向けた活動が行われています。既に色々な観測システムがありますので、それを統合して、システム・オブ・システムズを作ろうということです。

結局、現場観測があり、モデルがあり、リモート・センシングもあります。そういうものを繋げていくと、本当の意味でのオペレーショナル・オーシャノグラフィ、そういったものが生まれる可能性があります。いや、オペレーション・オーシャノグラフティは既にあるではないかという反論があるかもしれません。たとえば、日本でも戦前、海軍が海を測り、実際の戦争に使ったではないか、と。しかし、本当の意味でのオペレーショナル･オーシャノグラフィは今芽生えつつあると言えると思いま

す。

理学的な話になりますが、世界の現在の海流のイメージは、どうなのかといいますと、（**スライド P4**）このような感じです。この赤い部分、ここに日本がありまして、黒潮が流れています。こういう風に時計回りの循環が中緯度にある。Subtropical Gyres、亜熱帯 Gyres、亜熱帯循環系などと言います。大きなベースン（海盆）の西の方に非常に強い流れがある。東側は弱い流れです。南半球にも同じですが流れの向きが逆になりまして、こういう循環です。反時計回りになってしまいますけれど、これもやはりオーストラリアの方に強い流れがある。インド洋にもこういう循環がある。それからブラジルあたり、マルビナス諸島、フォークランドとかがあるところにも、こういう循環がある。もちろんアメリカの東側にはフロリダ海流、メキシコ湾流があります。

こういう循環系は何故できるかということですが、結局は風なのです。（**スライド P5**）風を見ますと、夏と冬、つまり 7 月と 1 月の風の分布を示してありますが、特に冬を見ますと貿易風が東から西へ非常に強く吹いています。それからこちら側に偏西風が西から東へ吹いている。

つまりこういう風は、その下にある水をこういうふうにまわそうとする、力学的にはトルク（torque）が働くといいます。これで回そうとします。そういうトルクを海の中に伝える、それが海流としてできていくわけです。南半球のほうにも、同じような状態でして、そういうふうにスピンを入れようとする。（**スライド P6**）そこに地球の回転とか、回転の緯度変化とかが効きまして、そんなに難しいダイナミクスではないですけれど、海流の理論が作られます。

これはちょっと難しそうに見えますけれど、こちら側に東から西へ吹く貿易風を入れ、こちらに西から東へ吹く偏西風を与えます。そして、ここに四角の海を置きまして、流体を入れて方程式を解きます。そうすると、こんなふうに循環系ができるわけです。ちょうど西の方に早い流れができる。これが黒潮とかガルフ・ストリームのモデルです。

この南側に流れる流れ、それがこちら側で北に戻ってくる。全体の循環の強さ、流れの強さ、これを V とします。流量ですね。黒潮の流量と思っていいです。それに比例定数がきまして、ここに風のトルク、タウというのは風のストレスですけれど、「応力」なんですけれども、それの回す力がきまして、式の右側は大気の方、空の量です。左側のこちらは海の量です。

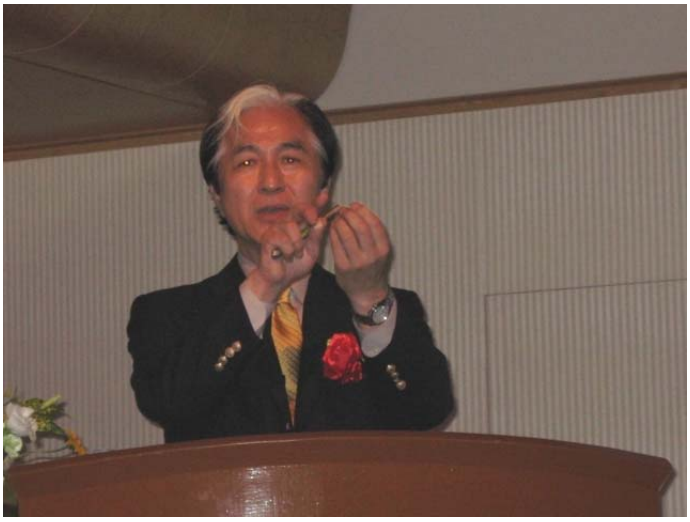
海の運動に有効な地球の回転は緯度変化しています。つまり赤道のところでは、今私が赤道に立っているとすると、立っている方向に地球は回転していない。北極に私が立っていると、その方向でくるくる回っていますので、完全に地球は回転している。そういうふうに、流体に働くものとしては、回転が緯度方向に変化している。そういう効果が大切です。地球全体はみんな回っていますが、そこに乗っかっている流体の効果としては、赤道のところでは回転していない、北極では回転している。つまり、回転率が緯度変化しているという効果が効くのです。それは式では定数として入れています。そうしますと A=B という関係式となりまして、風のカールが流量を決める。これで黒潮の流量が決まる。こういう非常に簡単な式、こちらは空の式、こちらは海の式です。そういう意味でこのハラルド・スヴェルドラップという人は、非常に基本的な、重要な概念を見つけたということになっています。これが 1947 年です。ノルウェーの非常に偉大な海洋学者でその後アメリカに移りまして、スクリプス海洋研究所を、きちんとした研究所にした重要な人です。この人の弟（リーフ・スベルドラップ）も非常に有名な陸軍技術将校でして、マッカサー将軍とノルマンディー作戦とかで偉大な業績をあげている、この人のお兄さんの海洋学者の名前がつく賞の方を、私も幸いなことにもらいました、歴史的には 26 番目になりますが。スヴェルドラップ・メダルというと、アメリカでは、普通は軍人のメダルになります。2 つの違ったメダルがあるのです。

スヴェルトラップの概念にもう少し粘性とか散逸の効果とかを取り入れまして、きちんとしたのがヘンリー・ストメルという 20 世紀最大の海洋物理学者と言われる方です。1948 年のことです。既に亡くなりましたけれども。

こういう理論が確立していまして、海流というものが風と関係するのだということです。　それは本当なのだろうか？　しかし、びっくりすることが起こりました。（スライド P7）

スヴェルドラップ理論に従って、そしてこちらに 1 月から 12 月までの季節を書きます。そして計算します。そうすると、流量がこのような季節変化をしなくてはなりません。これは黒潮の話です。実際の風、先ほどお見せした風を入れて計算します。こちら側は流量です。なお、非常に面白いことに、海洋物理学では海流の流量を示すのにスヴェルドラップという単位を使って良いことになっています。今、物理学では MKS などきちんとした単位を使わないと怒られますが、海洋物理学ではスヴェルドラップはあまりにも偉大な仕事をしているので、スヴェルドラップ（Sv）という単位

を使っていいのです。たとえば、日本の南岸あたりだと、冬に 80 から 90 Sv 位の流量がなければならない。1 Sv という単位がどの位かといいますと、10 の 6 乗立方メートル・毎秒です。そう言っても、皆様よくわからないと思いますが、世界の全ての河川の流量を合わせると、それがだいたい 1Sv。そのくらいということになります。だから、この黒潮がもし理論通りにいくと、この辺りでは 90Sv 位のものすごい流量があるということになります。夏は風が弱いので小さくなる。というふうに、先ほどお見せしました古典理論が正しいとすると、こうなるのです。



＜講演の模様＞

では、実際はどうか。気象庁が沖縄のところにある、PN－line を数十年測ったデータを整理したところ、この赤い線になりまして、全然違うのです。琉球の所は 25Sv 位で、これは最近の最新の観測でも同じくらいで、27Sv ぐらいでしょうか。季節的な変化を示さないのです。

1990 年代に私は、これまでやってきたエルニーニョ研究を多くの皆さんがやるので食傷気味になりまして、当時、私はちょうど九大から東大に移ったこともあり、海のモデルでも一生懸命やろうかということなりました。そして、たまたま非常に優秀な院生が入り、一緒にやってみよう、それならまず腕力でいこうということになり、最大のコンピューターの能力を搾り出し、海底地形も最高精度のものを入れまして、研究を始めたわけです。特に鍵本君という計算機大好きという方が入ってきましたので、一緒にやりました。そのころ三好先生という方、ニューメリカルウィンドトンネル（Numerical Wind Tunnel）、つまり数値風洞というものを作った方ですが、お会

いする機会がありました。彼に話しまして、使って良いよということでしたので、三鷹に菓子折り 1 個持っていって貸してもらいました。数値風洞とは地球シミュレーターの原型になったものです。当時、三好先生は巨大なシミュレータープロジェクトを始めたかったわけで、その準備をして良い、その代わり情報を全部渡せと。これは、ものすごいプロジェクトを考えているなというわけです。それが地球シミュレーターだったと後で気が付いたのですけれど、NWT の CPU タイムを 15%、たった菓子折り 1 個で 4、5 年貸していただきました。もしお金を払えば 10 億円くらいになるでしょう。

こちらは鍵本君の学位論文になったものです。本当はものすごいお金が必要でしたが、そんなわけで、実はただでやりました。その結果、こういう青い線の海流量が出まして、気象庁の長期観測とぴたっと合うのです。それでびっくりしまして、ではどうなったのだと、私が毎年学部 4 年生に教えている海洋の講義はインチキだったのではないかという感じがしました。しかし、この精緻なモデルの中には全ての答えが入っているはずだというわけで、克明に解析をしたわけです。そうしたところ、結局何なのかということが分かったのです。海には海底地形がある。海というのは、その上にある空がかきまわし、海流、流れを作りますけれど、同時にそこには固体地球があって、その上に海が乗っかっているではないか。海底には凸凹がある。大陸斜面もある、海山もある、海嶺もある。そこで流れが起こると、固体地球の地球回転とトルクをやりとりする。海流と海底の回転する地球とのトルクのやり取り。これが見逃されていたのです。つまり偉大なスヴェルドラップですが、それを見逃していた。それが克明に入っていたということで、その辺りのことで具体的にやったのがこの仕事です。

だから、何十年も基本的なことがきちんと理解されていなかったわけです。しかし、原理的にはウォルター・ムンクが 1950 年代にそういうことを部分的に指摘していました。

南極の周りを回る、南極周極流というのがあります。それをスヴェルドラップ風に計算しますと、500Sv とか膨大な流量になってしまう。南極を回る地球で唯一の地球全体を回る海流です。それに対して日高先生、我々の大先輩で、日本の初代の海洋物理学者教授ですが、500Sv はおかしい、しかしどうしようもないと考えました。それは日高のジレンマと言うのですが、それに対し、ムンクが海底地形があるので、それに入れれば納まるのではないかと言いまして、ムンクはそれを研究して海洋学よさようならと言って、回転する地球の、固体地球の先生になってしまいました。ムンクは、

7、8 年前に京都賞をもらった非常に著名な海洋学者ですけれども、そういうことがありました。しかし、その発想を発展させて現実にどうなるのかということに海洋物理学の歴史は進まなかったのです。

そういうことで、私たちの克明な海洋モデルができて、いろんなことができそうだということが見えてきました。計算機も非常に進み、三好先生のこの地球シミュレーターも完成した。（スライド P8）そういうことで、もっとワンランク上の高解像度のモデルが出来るようになったということです。これは今、全世界の海を動かしているものですけれども、たとえば、細かい非常に現実的な蛇行とかあるいは、あるいはこういうスーパーノバと言いますが、非常に大きなリング渦、黒潮リングができたり、海流のセパレーションが起きたり、本当にいろいろな渦が解像される。これはアメリカの湾流でも同じになります。こうなると、非常に現実的でして、これを使って現実の予測をやってみようという気になります。予測の話になります。

これは最新のモデルの結果で解像度が 3 キロメッシュです。（スライド P9～10）グローバルですけれど、この沖縄辺りを拡大して見ると、こういう細かい解像度があって、普通の教科書にある綺麗な海流ではない、ものすごくいろいろな構造があります。沖縄辺りを高解像、これからどんどん高解像にしていきまして、一番細かいのは地球シュミレーターセンターで行っている、メッシュ間隔が 850 メートルです。最終的には数メートルまでいこうと。大気のほうは今、そのプロジェクトを進めていまして、グローバルにやって 4 キロまで細かくします。今、シュミレーターセンターで高橋さんがやっているのは、東京駅とかも解像できるモデルです。エルニーニョが起きたら、東京駅周辺の海陸風はどうなるか。そこまでやろうというプロジェクトを進めようとしています。グーグルアースシミュレータともいうべきものです。ともかくそういうことまで動き出したのです。

実際に予測をやるには、地球観測がしっかりしていなくてはいけないということがあります。これ方面でも技術が非常に進みまして、多くの浮遊ブイ（スライド P11）を海に入れています。これは 1500 メートル位まで潜り、潜る時に温度と塩分の分布を測ってきます。そしてまた、上昇する時に測る。それを海面に浮いた時に衛星に情報を流す。こんなプロジェクトが進んでいまして、現在、このくらい入っているわけです。約 3000 個入って、日本も非常に大きな貢献をしています。基本的に日米が中心になっています。こう書くと、ものすごく海を汚しているのではないかと思われますが、実際は小さい物ですから、3000 個入っても、ほとんどぶつかることも無く、

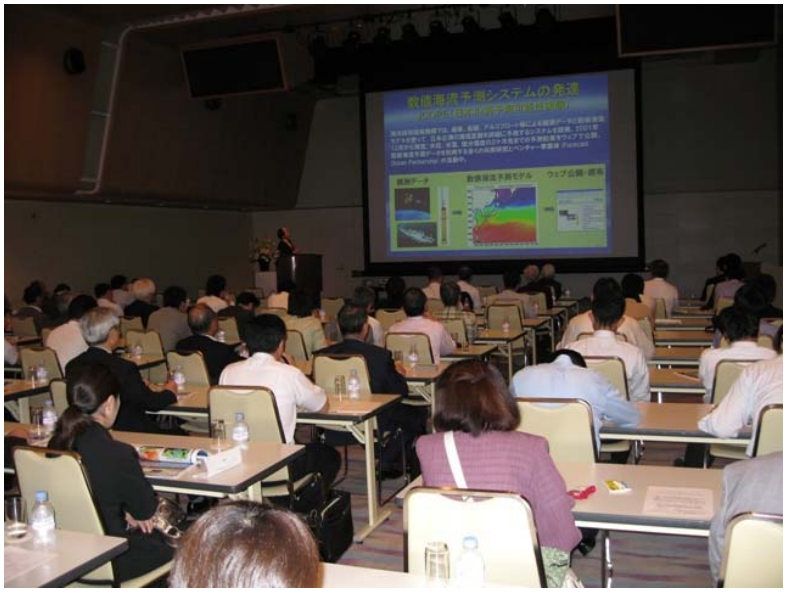
それが日々刻々とデータを送ってくれています。それからこのインバーター・エコー・サウンダー(IES)、海底において音響を出して、海面からの反射の時間の差、それによって海流を測る。そういう最新の係留ブイ。先ほども話しましたが。それからもちろん、観測船による観測、そういったことで黒潮などのいろいろな事を詳しく測れるようになりました。

こうなりますと、これをモデルに入れて海流を予測していくことが出来るわけです。もちろん海面水温の人工衛星データがありますし、(スライドP12) 今までは雲があると駄目でしたけれども、最近は雲を透過する電磁波によって、いつでも水温がとれるようになっています。

それからもう1つは、非常に凄いことですが、海の表面の凸凹、これを2㎝位の精度で測れるようになりました。海の中に海流とか渦とかがありますと、表面が盛り上がったり、凹んだりするわけです。これはお風呂で渦を巻いたりすると表面が下がりますが、ある意味でそれと似たようなことです。それを測ることによって、そこにある海流のスピンの強さがわかる。そうするとそれを初期値として使える。これは海面高度計という測器で、これを搭載した衛星が飛んでいます。実際これをやるためには、地球物理学の知識を活用して、地球の遠心力と重力の中において、地球の形というのをきちんと決めなければならない。それからのずれとしてこういう海の情報が流れてくるわけです。地球物理学者にとっては、これはゴミなのですが、私達にとっては貴重なデータなわけです。そういうふうに固体地球の先生と、流体地球を扱う海洋物理学が連携しているわけです。両方が進まないとだめなのです。私達にとって困るものはあちらにとっては非常に貴重なもの、あちらにとって困るものは我々にとってものすごく貴重なもの、という重要な共生関係があるのです。こういう技術が非常に進んできている。そういうことがありまして、予測が出来るようになった。

会場に共同研究者の宮澤さんもおられますけれど、一緒にみんなでプロジェクトを作りまして、日本沿海予測可能性実験を始めたわけです(スライドP13)。これを始めたのは1997年、地球フロンティアというのが始まった時なのですけれど、いずれ、我が国も海洋への認識が深まりEEZというものを重要だと思う時がくるだろう。その時に始めたのでは遅いから、私が勝手にこのプロジェクトを気候変動研究の中で始めたわけです。大変なものでした。長老の先生から、気候変動でどうして毎日の海の変動をやるのかとずっと批判されまして。しかし、だんだん理解者が増えて、今は海洋学のあり方を変えるくらいまで来たと思います。こういうのを作りまして、2001

年 12 月からウェッブで予測情報の公開を始めました。これには目標がありまして 21 世紀は海洋の予報の年にするということでして、2001 年の 12 月までにやらないと 21 世紀に間に合わないわけです。それで宮澤さんらの尻を叩きまして、なんとか間に合ったわけです。



＜講演の模様（スライド P13）＞

こういう HP を作りまして、時々刻々出しています。これはいろんな方がアクセスしてクリックすると、データが出てくるようにしてあります。今では 2 ヶ月先位までの海流の予測が出来るということが、学問的にもわかっています。

どんなものが見られるかと言いますと、（スライド P14～15）これが海上保安庁の出している予測でして、多くの方はこういうのを見ていろいろなことに使っている。しかし現実のサイエンスはもっと進んでいまして、例えばもっと細かいところも解像している。3 キロのモデルにこれを入れますとできますし、850 メートルのモデルを使えばもっともっとこういうところにできるウェーブまでできます。本当に実用のレベルまで近づいています。こういうモデルが出ますと、一方でサイエンスのほうにも非常にフィードバックできます。例えば、この黒潮は蛇行しているのですが、年によって日本南岸の黒潮は真っ直ぐ流れる場合と蛇行する場合がある。これの原因が未知だったわけです。しかし、こういうモデルは、それまでも予測してしまうわけです。たとえば、（スライド P16）これは 2004 年の黒潮大蛇行です。6 月 23 日の初期値を入れまして予測をやったところが、2 ヵ月後位に蛇行するという予測が出ました。その

通り蛇行してくれている。そうしますと、この中に全てが入っていますから、これの中を詳しく解析することによって、蛇行の原理とか、メカニズムとかがわかってしまう。また、同時にそういう細かな海流をみますと、これは海運にも使えるだろう、（スライド P17～19）ということで、そういうプロジェクトを始めまして、実験的に我々が海流を予測して、それを活用してもらっています。

MTI カンパニーが実際に船でドリフトを測ってみてどうなるかを調べました。黒潮辺りでは結構いい。後でお見せしますが相関が 0.7 くらいある。これなら使えます。海流は弱いところはどうでも良いですが、海流が強いところでは、非常に有効なのではないかということです。これが実際の相関ですけれども、この青い線が MTI カンパニーで船が測ったもの。この紫色が我々の予測です。その相関をとりますと、これはかなり強流域では非常に良いということです。これは実用になる。また、同時に海流を上手に使っていきますと、目的地に早く着ける、燃費を節約できる。二酸化炭素をあまり出さないということで、ある意味で良い事ずくめではないか。特に地球温暖化対策、いずれ外航船にもそういう規制が導入されるのではないかと思いますので、運航時間の短縮によって、燃料節減、CO2 排出削減、そういったことにも非常に効果があるだろうということになります。もちろん内航船に関しては、既に何らかの対策をとらなければいけないことになっています。

これは（スライド P20）船上実利用をより詳しく調べたものでして、このラムライン、地球の中心を通る大円に沿っての最短距離、そこを通るのと、少し遠回りになるけれど、黒潮にうまく乗っかったらどうなるのか。むしろ乗っかったほうが早く着くのです。この海流航路といったものがある。昔の人はそれを使って流されていったわけですけれども。そういう可能性がある。しかし、我々にはより細かい海流が見えてきました。例えば（スライド P21）台湾の付近をよく調べますと、場所によって非常に速い所と遅い所があります。その細かい解像度でうまく速い流れのところに、筋のようにありますのでそこに乗り移る。そういうことを上手に船長さんがやるならば、もっともっと有効利用できます。時間的にも海流が変動していきますから、そういう利用の仕方をうまく考えていく。どの位効果があるかということで（スライド P22）、これは船の対水速度を一定としまして、たとえば 20knot で行くとします。その時に、適当な雑な海流図を用いると 2knot 稼げて、海流効果を含めて 22knot になる。先ほどのような、細かいもので 3knot のところをうまく捕まえる。そうすると 23knot。これは非常にわずかに見えますけれど、実際の時間節約は 4.3%の効果がある。15knot

の場合は5.6%あるということになります。

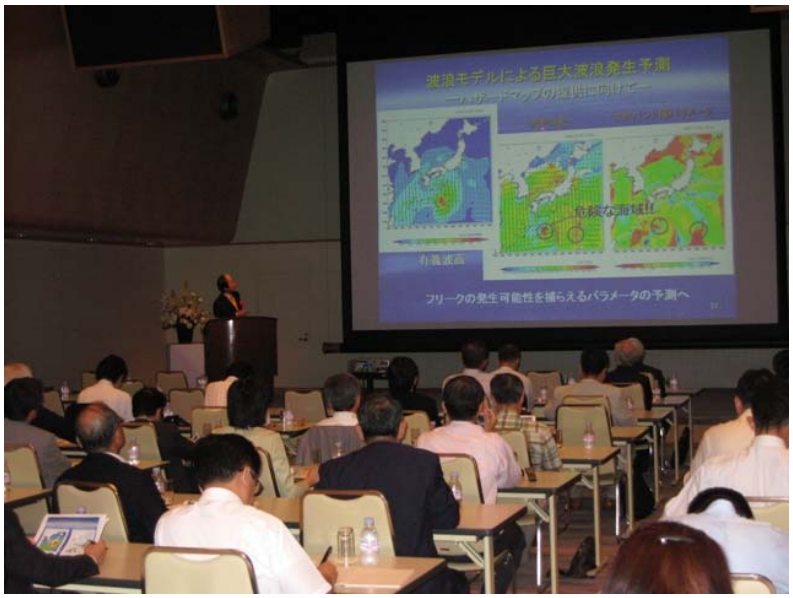
それから運航時間を一定にする場合はどうかと。(**スライド P23**) 燃費がどう節約されるか。海流効果を含めた船速が 22knot。黒潮の平均流速は雑なチャートでいくと、2knot 位ある。ハイレゾリューションの予測でうまく黒潮の強いところを乗っかっていくと 3knot 位平均で稼げる。そうすると燃費というのは、ドラッグに関係するものですから、速度の 2 乗に関係するものです。これだと 9.8%の節約になる。これは馬鹿にできない量です。トヨタなど、たとえば車関係だったら、ドラックを小さくしてすごく燃費の良い車を作り、上手にやるでしょう。そういう可能性が海運でも非常に高い。

同時に海の安全・安心に重要な現象に、(**スライド P24**) フリークウェーブというのがあります。この分野の専門家である早稲田先生も、今日来られていますが、突然このような高い波が現れることがあります。何も無いところに、突然現れる。それに遭うと、大変なことになり、船が壊れてしまう。(**スライド P25**) これはそういう波の写真です。この三角波みたいのが現れてくるのです。高さが 10 メートル、場合によっては 20 メートル位の波が突然来る。それで船が時々ポキッと折れたりしているわけです。そういうことは、比較的海流の強いところで起こる。南アフリカ、ケープタウンがここにありますが、アギュラス海流がありまして、非常に強い海流があります。先ほどお見せした西南境界の 1 つです。黒潮のようなものですね。そういうところに、逆の方から波がくる。そうすると突っ立ち効果でものすごいフリークウェーブが出来る。そうすると、船首がえぐられたりポキッと折れたり。

これは (**スライド P26**)、海難事故が起きた場所ですけれど、たびたびこういうことが起きる。これは全世界でこのような事故が起きた例を示してあるわけですけれど、大体強流域の近くにあるということが言えます。こういう安全・安心の確保に対しても、波の予測が出来るなら、すごいことになるだろう。それで我々は既に海流の予測はできていますので、波の予測モデルもそれにくっつけて、海流と波とのインタラクションをやるプロジェクトを始めました。(**スライド P27**) これを WAVE－JCOPE、波のジャパン・コースタル・オーシャン・プレディクタビリティ・エクスペリメントというプロジェクトを始めました。気象庁の海上風データ、我々の海流のモデル、これをくっつけましてマリンモデルをやっているわけです。

例えば台風が来ます。(**スライド P28**) これは TOKAGE という台風で、2004 年には沢山の台風が、10 個もの台風が上陸し、いろいろな災害を起こしました。その台

風が来たとき、どうなるかということをモデルでやってみなした。この赤いところが非常に高い波でして 20 メートル位あると思います。と同時に、これがフリークウェーブを生むのです。これはモデルがどの位正しいかを検証しまして、(**スライド P29**)たとえばこの辺り、室戸の沖でやったものが、この有義波高ですけれど、周期とか波高が示してあります。このドット表示が観測です。そして、この線が予測だと思いますが、非常によく合う。ピークがとらえきれていないところもありますが、かなり合う状態になってきている、ということになります。特に波に海流がどのような影響を与えるかといいますと、(**スライド P30**)こういう黒潮があるところで、波が高くなる。もとの波自体はあまり高くないですから、海流の効果がより強く出ているということになります。



＜講演の模様（スライド P31）＞

フリークウェーブが生じるのはどういうところといいますと、結局、波形の勾配が大きい所、そういう波のある方向へ向かっていく。(**スライド P31**) 四方八方に散るのではなくてそういうところに存在する。波形勾配とか、バンド幅、そういうパラメーター、新しいパラメーター、それを予測することによって、フリークウェーブがこの辺りに出やすいということが言えます。これは波高ですけれど、必ずしも波高が高いところが危険というわけではない。いたるところで波高が高ければ、それはフリークウェーブとは言わないのです。いわゆる凪いでいるところに、突然にバンと波がくる。そういう危険水域の予測をやれば、これも非常に社会に貢献するでしょう。それから

フリークウェーブがどういうものかということがわかると、造船業界にも貢献できます。船をどういう強度にすれば良いのかということです。昔は 100 年に 1 度位と言われていたのが、最近は割りと頻繁に起きる。つまり北太平洋は波高しという状態になっているのです。

地球温暖化というのは、エルニーニョみたいなものをよく起こしますが、同時にテレコネクションと言いまして、その影響が方々に現れます。北の方の海の波は、どんどん高くなる。むしろ温暖化で北の海は冷えのです。かき回されまして。そういうことに対しても、貢献できるだろうと思います。（**スライド P32**）巨大波浪の観測とその発生条件の研究ですね。こういう理学的な研究がさらに MOST（Management of Science and Technology）、ではないですけれど、ダイレクトに社会に貢献していくということになる。今、理学とその成果の社会貢献というのが、非常に近づいていると言えます。

さらに、もっとおいしい話といいますか、（**スライド P33**）たとえば、海流予測ができると漁業にも非常に役に立ちます。ある漁協さんが使いたいということで、情報を流してあげました。南洋までマグロを捕りに行ったようですが、非常に燃費がよくなり、3 倍も漁獲高が上がったという情報も入っています。あまり獲りすぎてもすぎでも問題ですが。そこで、漁業の管理、リビング・マリン・リソーシーズの管理ということにも使う必要があるということで、我々も水産庁の関係機関とプロジェクトを組んでいるわけです。

これは（**スライド P34**）インド洋ですが、インド洋はカツオがよく捕れます。この辺りの島では、鰹節は日本より先につくっていたらしいです。このあたりの漁場ですね。カツオというのは、流木なんかがあるとそこに集まってくる。そういう意味で、流木をわざと流して、そこに集めて一網打尽にする。という漁法があるらしいです。

たとえば（**スライド P35**）そういうところに流した場合、どういうところに行くか予測するというわけです。流木ですから、風の影響も入れなくてはいけません。海流の影響も入れなくてはいけません。そうなると、風との関係で、突然にこっちにいったりする。こういうところに散らばっていく。しかし、あらかじめ予測海域で待機していればよいのです。そういう流木を用いた漁業にも貢献がある。こうしたプロジェクトも開始しています。

流木となりますと、2006 年 7 月に長崎港にものすごい量の流木が漂着した、大変な事件がありました。我々は海流の予測をやっているわけですから、その予測で時間

を逆回しにしたらどうか。（スライド P36）始めにこの長崎港に流木を入れまして、時間を逆回しにする。どんどん戻していくと、どこから来たのかわかります。映画の逆回しです。そうするとこの辺りに来ています。どうも長江とか中国の方の沿岸で、洪水によって流木が起きたのではないかと推定されます。

これは（スライド P37）最近起きた痛ましい事故なのですが。モルジブの話です。今年 6 月にモルジブで日本人のウィンドサーファーが流されてしまいまして、スリランカの沿岸警備隊から、共同研究者の宮澤さんの方へ助けてほしいと依頼がありました。彼らはインターネットなどでいろいろ調べて、こういうものをやっている我々がいるというのを知りまして、情報がないと四方八方捜さなくてはいけないので沿岸警備隊が動いてくれないということで、助けを求めてきたわけです。そこで我々が急遽計算をして、こういうところに流されていくだろうとアドバイスした海域を集中的に捜索をしました。1 名は助かりましたが、もう 1 名は残念ながら見つかっていないようです。

しかし、このようにインド洋の細かい予測もやっていますので、非常に有効な時がもうすぐ来るということです。こういう理学的な研究は、コンピューターの発展、それから観測システムの発展、モデルの発展の相乗効果で、現実の適用が見えてきたということです。こういうコンテナ船とか海難救助、漁業、海運、海事のあらゆるものに使えるのではないかということです。もちろんネイビーには重要な役割を果たしていまして、諸外国では非常に熱心にこういう研究を進めています。イギリスのロイヤルネイビー、アメリカのネイビーもそうです。しかし恐らく我々の持っているものが、世界最高の水準にいっているという自信があります。我田引水かもしれませんが、米国のネイビーのものよりもはるかに優れていると思います。結局、どういうことなのかというと、自然に優しくするということで、（スライド P38）大航海時代の操船がありますけれど、風とか流れとかを上手に使って、そして燃費を節約して、自然に優しくする。そうした効果を数パーセントでも良いから入れていく。これは非常に有効です。これからの社会というのは、最先端の理学、工学をうまく使って、そういうふうに向かっていかなければならない。そういう意味で MOT(マネジメント・オブ・テクノロジー)ならぬ MOST、マネージメント・オブ・サイエンス・アンド・テクノロジー。そういう話をさせていただきました。

どうも有難うございました。

《司会》

山形先生、どうも大変貴重なお話を有難うございました。海洋学の歴史から現実的な、先月起こった事故のような対応まで含めて、非常に具体的にわかりやすいご説明を短時間で行っていただいたと思います。

それでは、本日は非常に時間が限られていますので、コンパクトにお話いただきましたので、質疑応答もあるかと思いますので、これから少し残りの時間で質疑応答を行いたいと思います。質問のあります方は挙手いただきたいと思います。担当の者がマイクをお持ちいたしますので、質問の前に所属とお名前をお知らせいただきまして、質問していただければと思います。何か質問のございます方は、どうぞ挙手をお願いいたします。

＜講演の模様（最終スライド）＞

《質問者　①》

海流予測情報利用の効果ということをご説明いただいたのですけれど、最近船舶用の燃料油の価格が非常に上がってきて、各コンテナ船社さんは経済運航ということを非常に気にしていらっしゃるようなのですけれど、こうしたことは、実際にリアルタイムで船と連携を取りながら経済運航に繋げていくということは、現時点で技術的に可能なものなのでしょうか。

《山形教授》

そうですね。可能でして、具体的にはいろいろな実証実験をやっています。これについては事業体が立ち上がっていまして、「フォーカスト・オーシャン・パートナーシップ」FOP というものです。まだ LLP(Limited Liability Partnership)なんですけれど、今後、いろいろな商船会社と連携をとってゆきます近々著しい効果が発表になるかと思っています。

《質問者　①》

有難うございます。

《司会》

はい、他にございますでしょうか。

どうぞお願いします。

《質問者　②》

大変貴重な話を聞かせていただきまして、有難うございました。

たとえばウェザー・ルーティングなんかをやっておりますと、たとえば北太平洋を横断して東京からロスに行く場合、大体 10 日位、10 日から 11 日位、今はもう少し速くなっているかもしれませんが。その場合、東京から出た時に、大体 10 日先の色々な気象海象情報がわかれば、非常にウェザー・ルーティングの精度が上がると思われます。今のところ、大体 5 日位先、太平洋の真ん中辺りまではわかっているのですけれども、またそこから始まって、5 日が正確だとしますとその 5 日先ということで、なんとか我々がやっていたころは、10 日先までやれないかというのが願いだったわけです。今、それが大西洋にきますと、もう少しきめ細かいブイが沢山入っていて、良い情報が得られたわけですけれども、先生のお話ですと、大体そうしますと、10 日先くらいまでの情報は何%程度、ちょっと非常に雑駁な言い方で申し訳ございませんけれど、かなり当たるものなのかと。こちら側から、当たるというか、どういう意味で当たるかわかりませんけれど、波浪情報とかそういったことが、極端に悪くなって予報を外れて、船が針路を当初のものから変えなくてはいけないということになるまでに、予測というのはきちんとやっておかなくてはいけないので、その辺の感触は、今見せていただいたそれなんかでもやっていただいて、いかがなものでしょうかとい

うことです。

《山形教授》

ここでお話させていただいたのは主に、ウェザー・ルーティングというよりはオーシャン・ルーティングというものでした。海象情報というより海流の方を我々中心にやってきたのですけれど、ウェザー・ルーティングに関しては既にある程度いろいろな業者さんもいまして、そういう意味ではウェザーに関してはやはり高精度の大気予報モデルがポイントになります。大気というのは、基本的に 1 週間程度の予測可能性があります。それよりさらに先にいくというのはウェザー・ルーティングに関しては結構厳しいと思います。しかし、海流に関しては、先ほどいいましたように場合によっては 2 ヶ月位先まである程度予測が可能と言えます。海の渦が移動していく、そういったものはかなり安定して移動してゆきます。そういった意味で海流の予報、予測に関してはかなり先まで進められる。その両方を上手に絡めていくというのが、これから非常に重要になるのではないでしょうか。大きく見れば、海のウェザーですから、ウェザー・ルーティングでもいいですけれども、むしろ我々がこれからより重要だと思うのはオーシャン・ルーティングです。プラスして、既存のウェザー・ルーティングとのくみ合わせ、それがこれから非常に重要になるかなと思っています。お答えになっているかどうかわからないですけど。

《質問者　②》

わかりました。私共はやはり海流で予測して大体それに乗せて、後は局部的に気象の情報をいただいて、それで修正していくというのが、たぶんやり方として一番スタンダードというか、オーソドックスなやり方だと思いますが、その辺はそれでいいんでしょうか。今のお話を聞くとそういうふうに思えるのですが。

《山形教授》

おそらく、そういうことですね。我々はビューアいうのを開発しまして、船につけて船長さんにそれを使ってもらっていますが、それがウェザー･ルーティングのほうのマシンと 2 つあると非常にやりにくいと思いますので、やはりこれからはシステムを 1 つにまとめていくようなことも考えている次第です。場合によっては船舶を造る時にはじめからそれをセッティングしてしまうということも考えています。

《司会》
はい、どうぞ。

《質問者　③》
今、この太平洋に関しては非常に詳しく、現実的に利用できるようなお話を伺いました。しかしながら、船は地球のどこにでも行きますので、他の海域ではどういう状況で、今後の予定はどうなっているのか、その辺のところをお聞かせいただきたい。

《山形教授》
ありがとうございます。太平洋だけでなく、既にインド洋もやっておりまして、それをこの前海難救助に使わせていただいたということです。次に大西洋までゆきたいと思います。ジャパン・コースタル・オーシャン・プレディクタビリティ・エクスペリメント(JCOPE)をやってきましたが、今、私達が準備していますのは Japan の J を G にかえることです。グローバル・オーシャンにしていくということを考えております。日本の商船も全世界に行っておりますので、そういった意味で貢献したい。日本の商船だけではなくて、ギリシャ辺りもいっぱい持っていますので、そういうところにも貢献するようにしていきたいと思っております。要するにグローバルですね。

《司会》
はい、どうぞそちらのかた。

《質問者　④》
先生、面白い話を有難うございます。スライドの 21 番、台湾だと思うのですが、すごくおいしいところ、スライドではわからないですが、プリントですとすごくシャープな赤で、ここは流れが強いというのがあるのですが、すごく狭いところがあるのですが、ところが場所による違いで、断面を変えていくと、あっちいったりこっちいったりするようにも見え、それから時間によっても変わる。それから先ほどのご説明で結構時定数が大きいので、そう簡単にかわらないというお話ではありましたけれど。追い潮のところが、追い風ではなくて、追い潮が強いところが、局部的で且ころころ変わるのだとすると、予め予測値があるとしてもここいってこっちいって、細かく舵

を切っていかないということはあるのでしょうか。要するに、それは流速のおいしい所、時間的な空間的な定数がどうなっているかということなのかもしれませんけれど。先ほど、何%か効率が良くなるという違うスライドがございましたが、普通だと 2knot 予測できるけれど、いいのを使うと 3knot となる。ところが、3knot のベストのやつを追っかけようと思ったら、ころころ航路を変えないといけないとか、あるいは潮待ちために 2 時間待てとか、そういうことが現実的に、船長さんがコンピューターに頼るとしても、操船可能な利用の仕方が物理的に可能なのでしょうか。それともあまりにころころ変わって、実はあまりうまく使えないものなのでしょうか。

《山形教授》

その辺の最適過程をとる、ビューアのところである意味自動的に計算しますから、後はそこに船長さんの判断もそこに入れてゆくことになるでしょう。基本的にはそういったモデル計算をビューアで活用しつつ、船長さんが航路を決めるという感じになるでしょう。

《質問者　④》

現実的にもしこれを皆さんが使えるようになると、CO2 がすごく削減されるのでしょうけれど、航路に結集して、そこだけ衝突事故が起こって、保険会社が喜ぶということになるのでしょうか。

《山形教授》

みんな同じのを使います。しかし、同時出発ではないので、山手線ほどにはならないと思います。しかしそれに近い状態、同じ航路を列をなして航行することになるかもしれませんね。

《司会》

他にご質問ございませんでしょうか。

よろしいですか。それではご質問がないようですので、この後、懇親会も予定されておりますので、そちらでも直接聞いていただければと思います。

それでは一応講演会といたしましては、以上をもちまして終了とさせていただきたいと思います。皆様、今一度山形先生に大きな拍手をお願いいたします。

最初に申しましたとおり、この後１階のレストランで簡単な懇親会を予定しておりますので、暑い時期でもありますので是非お飲み物でもお楽しみいただければと思います。

それでは皆さん、今日はお忙しいところお集まりいただきまして有難うございました。これをもって終了といたします。有難うございました。

＜講演終了後、懇親会にて＞