

## 「海の変動を聴く」

ウォルター・H・ムンク博士

京都賞を受賞する初の海洋学者となりましたことを光栄に存じます。50 年前、我々は海洋大循環というものを、黒潮や湾流といったいくつかの主要な海流という視点からのみ考えていました。こうした海流は定位置にあると思われてきました。すなわち、一度その位置から特定されると永久にそこにあると考えられていたのです。ところが 1950 年代に、黒潮の流路が変わることによって付近の気候が大きく影響を受けることが判明しました。湾流が大きく曲流すると巨大な渦が生じます。実際、海洋にはこうした渦がたくさんあります。そのため、第 4 次元である「時間」を考慮に入れた海洋計測の新しい手法が必要となったのです。

海洋を 12 ノットで進む数隻の船だけでは、この時間という新しく付け加えられた次元を計測することができません。この課題に対処すべく我々は、海洋が 3,000 ノットで移動する音波を通す（しかし電波は通さない）という事実を利用して、「海洋音響トモグラフィー」を考えつきました。この手法では、音響パルスを 1 つの係留地点から別の係留地点に伝え、その伝搬時間を計測するのです。音速は温度に敏感な関数なので、伝搬時間を測ることによって 2 つの地点の間にある水の温度についての情報が得られます。我々はまず 20km から始め、次いで 300km、1,000km と延ばしていき、海洋の渦、湾流の蛇行、北極の氷の形成についての新たな発見をいたしました。

地球温暖化への懸念が深まる中で、たとえば 5,000km ないし 10,000km といった気候変動性に相当する距離の伝搬が可能かどうかということが問題になりました。人口の音響信号が記録されうる限界を調べるため、我々は南インド洋のハード島に渡りました。ハード島からは南・北大西洋および南・北太平洋まで、直接の音響経路があります。我々は世界を半周する距離まで計測することができました。

この実験の半ばに嵐が起り、機器が壊れました。確かに自然現象については油断していたかもしれませんが、この嵐はグリーンピースやその他の環境保護団体の反対運動に比べれば大したことはありませんでした。こうした環境保護団体は、音源が海洋の生物に干渉することを心配していました。現実には、そのような干渉は起こらず、音響装置は比類ない精密さで気候の変動性を計測することが証明されました。音響トモグラフィーと衛星気圧測高法を併用することで、海盆における蓄熱量の変動を効果的に計測することが可能なのです。

クジラを含めた全ての生物に影響する気候変動に適切に対処するには、気候モデルの実験が不可欠です。海洋は気候変動において大きな役割を果たしています。それは、ひとつには海中に CO<sub>2</sub> や熱が蓄えられているためです。また、海洋については未知の部分がまだ非常に多いためでもあります。海洋について正しい知識がなければ大気についても正しく理解することはできません。海洋観測所（地上の気象観測所のようなもの）の地球規模ネットワークの構築が現在計画されています。この観測システムに海洋音響トモグラフィーの係留所も採用されることを願っています。

我々は、気候変動に耳を傾けることを学ぶことで、自然災害や反対運動に対して、さらに謙虚に地道な努力をすることが必要であることを痛感しました。思えば、稲盛和夫理事長が京都賞を

設立されたのは、「科学的側面と精神的側面の両方のバランスの取れた人類の発展に寄与する」  
為でありました。

## "Listening to the Ocean Climate"

Dr. Walter H. Munk

I am honored to be the first Oceanographer to receive the Kyoto Prize. Fifty years ago we used to think of ocean circulation in terms of a few major currents, the Kuroshio, the Gulf Stream etc. The currents were believed to be *steady*; once mapped they would forever be known. In the 1950's we learned that the Kuroshio changes its track with major effect on the local climate. The Gulf Stream wiggles along major meanders and sheds giant eddies. In fact, the global ocean is filled with such eddies. This called for a new strategy of measuring the oceans, allowing for a fourth dimension: TIME.

A few ships chasing over the oceans at 12 knots cannot handle this additional time dimension. We conceived of Ocean Acoustic Tomography to meet this challenge, taking advantage of the fact that the ocean is transparent to sound waves that move at 3,000 knots (yet opaque to radio waves). We transmitted acoustic pulses from one mooring to another, measuring the travel time. Since the speed of sound is a sensitive function of temperature, the travel time will give information about the temperature of the intervening waters. We started at 20 km ranges, then went to 300 km and then to 1,000 km, learning new things about ocean eddies, Gulf Stream meanders and arctic ice formation.

With the increased public concern about global warming, the question arose whether it was possible to transmit over distance commensurate with climate variability, 5,000 to 10,000 km, say. To find the limits over which man-made acoustic signals could be recorded we sailed to Heard Island in the Southern Indian Ocean from where there are direct acoustic paths into the South and North Atlantic and the South and North Pacific. We were able to demonstrate ranges up to half way around the world.

A storm midway into the experiment demolished the equipment. If we had underestimated the natural elements, this was nothing compared to the opposition encountered from Greenpeace and some other environmental groups. They were concerned that the sound sources would interfere with marine life. It has since been shown that they do not, and that the acoustics can measure climatic variability to unparalleled precision. A combination of Acoustic Tomography and Satellite Altimetry can do a good job of measuring the variable heat storage of an ocean basin.

Testing climate models is essential if we are to cope sensibly with climate changes that could effect all of us living creatures, including whales. The oceans plays a major role in climate change; as a reservoir for the storage of CO<sub>2</sub>, of heat, and yes, of ignorance, We will not get the atmosphere right if we do not get the oceans right. A global network of ocean observing stations (akin to the land-based weather stations) is now being planned. We hope that Ocean Acoustic Tomography moorings will be part of the observing system.

Learning to listen to climate change has taught us to be persevering yet jumble in the face

of natural disasters and human opposition, I am reminded that Dr. Kazuo Inamori established the Kyoto Prize to "encourage a balanced development of both our scientific and our spiritual sides...".