

金沢大学サテライト・プラザ ミニ講演

日時：平成21年3月7日（土）午後2時～3時30分

会場：金沢大学サテライト・プラザ 集会室

**演題：「富山湾を襲った“寄り回り波”による高波災害の報告と対策
—波浪災害と地球環境問題への対応—**

講師：石田 啓（金沢大学環境デザイン学類教授）

1. はじめに

全体は三つぐらいに分かれており、最初は富山湾の寄り回り波による高潮災害・高波災害ということで、そこから話を始め、地球環境問題、あるいは今まで私自身が関与したこと、また現在やっているようなことも含めて、三つぐらいのことを一挙に話させていただきます。

2. 寄り回り波による高潮災害

一番最初の写真は土木学会のスライドから取ってきたもので、入善沖の海底40mで発見された世界最古の海底埋没林、これは木の根元のところです。深さが40m、つまり約1万3000年前、ここはまだ陸地だったという証明なのです。1960年に見つかりましたが、漁師さんはもっと前から知っていたということです。これが今日のキーになります。

富山湾の寄り回り波による高潮・高波災害を説明します。約1年前に発生し、38年ぶりの大被害ということです。10mぐらいの大きな波が来て、周期が16秒ぐらいという長いものです。被害が三十数億円ということで、石井富山県知事に協力して、本省からお金を取ってくるということに努力させて頂きました。不幸にして死者1名が出ました。これは海岸堤防が壊れて、水が入って、波が入ってきているという状態を写した写真です。

また、佐渡島も非常に大きい災害がありました。そのときの写真が残っています。これは灯台ですが、それぐらい波が高く来たということです。十数メートルぐらい吹き上げて、防波堤が壊れました。それから大きい船に小さい船が乗り上げたのもあります。

気象庁のホームページを開いてもらうと、恐らく38年前の災害時の写真だと思うのですが、寄り回り波の写真が出てきます。これも相当高く、20m近く上がっています。どういうときに寄り回り波が起こるかといいますと、大体冬場、気圧配置が西高東低になってい

るようなときに起こるのです。発生原因は北海道の方にあり、そのときの風が日本海を渡ってきて、波を起こして、富山湾に波が押し寄せてくるということです。

まず発生原因ですが、北海道の方に西高東低の低気圧があるとします。気圧が低いわけですから、通常、風は全部中心に向かって吹き込んでくると思われます。その力を気圧傾度力と呼んでいますが、気圧の低い方へ風が来るはずですが。

ところが、地球は自転しています。北海道の方から九州の方へ向かって夜が明けていくわけですから、地球は右回りといいますが、そういう回転をしています。ところで、水や空気は地面に接していますが、摩擦力が弱く、特に空気の場合はあまり摩擦力がなくて、地球の回転と逆向きに空気が振られることとなります。そのときの力を、コリオリという人が「コリオリ力が働いている」と言いました。これは地球に引っ付いて考えれば、そのような力が働いていると見ることもできるわけです。絶対静止座標から見れば、コリオリ力が働いているわけではなく、地球が勝手に回っているだけです。

結果的にわれわれは地球に引っ付いて動いていますから、空気は吸い込まれると同時に地球の回転と逆方向に振られるという、この二つの力が合わさった力を受けます。これが風を起こす力です。従って、風は等圧線に直角に吹くはずですが、地球上で考えるとそうではなく、大体等圧線に平行に吹きます。従って、北海道の方に低気圧があると、風は日本海を北から南の方に縦断していきます。これが波を起こす力なのです。

どういう風が吹くと大きな波になるかという、風速が大きく、長い時間吹いているほど大きな波が出ます。それから風が吹き渡っていく距離が長いほど波が発達していきますので大きな波になります。つまり風速と吹送時間、吹送距離、この三つで波の高さ、周期が決まってきます。このことをまとめた3人の学者、Sverdrup, Munk, Bretschneider の名前を取って「SMB法」という形で、現在でも深いところの風波を推算することができます。

実は第二次世界大戦のときにノルマンディー上陸作戦という世界史上最大の上陸作戦が展開されました。そのときに連合軍側が上陸艇でフランスのノルマンディー海岸に上陸しようとしたのですが、台風が来ていたのです。母船は大きいので、少々の波ではひっくり返りませんが、母船から吐き出される上陸艇は小さいので、波高が1 mを越えると不安定になるのです。ですから、どれぐらいの波が立つかをすぐ推算できるようにしておけという命令があり、そういうことからSMB法が発達したわけです。

このときに、富山の場合は980hp（ヘクトパスカル）。昔はミリバール、今はヘクトパス

カルといいますが、大気圧の 1013hp からは 33hp ほど低い。1 hp (1 ミリバール) で 1 cm だけ水面を吸い上げる力になりますので、静的吸い上げであれば 30cm ほど水面が吸い上げられているような状態だったのです。そこに風が吹くので、海水が吹き寄せられて、生じた波がどんどん動いていくわけですが、それが 22 時間も吹いていました。しかも吹き渡る距離は日本海を縦断しますので、横断するよりは長いですから、波高が大きくなります。こうして北海道の方から富山湾までたどり着くという状況だったのです。

では、なぜ寄り回り波というような特殊な波になるかということ、海底地形が影響しています。富山湾というのは「おぼれ谷」「あいがめ (藍瓶)」とも言われており、真ん中が深く、1000m ぐらいあります。陸地から、わずか数十キロで 1000m になります。つまり急斜面なのです。6 分の 1 勾配、あるいはもう少しきつい 3 分の 1 勾配のところもあります。これはスキーでいうと上級者コースです。ですから、大きな丸い石を落としますと、1000 m の海底谷まで落ち込んでいってしまいます。途中で止まりません。それぐらい特殊な、めったにないような湾なのです。しかも局所局所に海底谷があるのです。入善海底谷・吉原海底谷・五十里海底谷・平曾海底谷・生地海底谷・片貝海底谷と並んでいます。

そういう複雑な地形をしているので、実は波というものは、進み方が速いところと遅いところが出るのです。波が進む速さと、水の粒子そのものが動く速さは別です。形が伝わる速さは、例えば縄を振っても波は伝わります。しかし縄の粒子自体が動いて行くわけではありません。そこに止まっています。形が伝わる速さは celerity, C を使います。実際の粒子が動く速さは velocity, V を使います。形が伝わる速さは波の速さ、「波速」といいますが、長波という周期の長い波は \sqrt{gh} で伝わるのです。 \sqrt{gh} というのは、g は重力加速度で定数で、h というのは水深です。それで水深の $\sqrt{\quad}$ に比例して波は伝わります。例えば、h に太平洋の平均水深 4300m を入れますと、ジェット機クラスの速さで波は伝わって行きます。しかし、もし 10m を入れますと、重力加速度が大体 9.8 ですから、 $C = \sqrt{100}$ です。そうすると秒速 10m ぐらいの波で伝わっていくことになります。そのように水深によって波の伝わる速さは変わります。

そうすると、こういう地形があったとします。岬の出っ張っているところの海底地形は、やはり大体出っ張っています。くぼんでいるところの海底地形も、大体陸地に平行的になっているのです。波がくぼんでいるところに向かって進んでくると、深いところを進んできたものは早く届きます。浅いところへぶち当たるとゆっくりになります。従って、出っ張っているところに向かっては波の進みが遅くなり、くぼんでいるところは進みが速いで

す。園家もそうです。芦崎でも少し乗り越えていますね。生地はたまたま特殊な防波堤を造っており、それで助かったのです。このように、場所によって大きな波が来るところと来ないところが出てくるのです。

しっかりと防災対策をするには予測が大事です。予測できることが助かる道で、われわれは被害が起こらないようにしたいということで予測する方法を一生懸命研究しているのです。少し話が外れますが、2005年8月にアメリカでカトリーナが災害を起こしました。そのときの予測の話を少し紹介します。

実は、現在は2週間から3週間先まで波は予測できます。学問・技術が非常に進んだのです。昔は3日先まで予測できる程度でした。今はもう2週間以上先まで大丈夫です。しかしそのためには三つほどプログラムを走らせなければいけないのです。現在は人工衛星が地球上をたくさん回っていますが、特にアメリカのものと日本の独自のもののデータをキャッチしても、そのデータだけでは、実は細かく全世界を覆っているというわけにはいかないのです。どうしても経線と緯線のメッシュ的なところぐらいしかデータは得られません。そのデータが送られてきたとしても、われわれが対象とするところは、広いように見えても、人工衛星から見たらほんの1点にすぎないわけで、その細かいところのデータがないと波の計算はできないのです。

従って、人工衛星データをもとにして、対象とする地域の風向・風速・気圧といったものを内装して、対象地域のデータをスムーズにつなぐようなプログラムが必要です。その気象データを用いて、今度は波高が幾らになるか、周期が幾らになるかということを計算するプログラムを使います。これは「SWAN」といいますが、この三つのプログラムを使うことによって波高や周期を予測することができます。

カトリーナが発生してから3日、4日かかって動いてきたときの人工衛星写真が出ています。その結果を見てみますと、赤色が実測値で、青色が計算値です。その風向・風速・波高・周期が並べて書いてあります。そのプログラムで計算したものと実測値がほとんど一致しています。つまり、人工衛星データから風向がしっかり分かりますし、風速もほとんど正確に出ます。波高は少し実測値の方が大きいのです。これは統計処理を行って、大きい方の3分の1の有義波で話をするので、実測値の方がどうしても大きくなるという傾向があるのです。周期は全般的に実測値の方が大きいのです。これは計算プログラムを修正する必要があると考えられます。しかし、大体予測出ることが分かったのです。

これはたまたま京都大学の間瀬先生が、ちょうど計算できる時期に来ていたので、大急

ぎで計算してくれたのです。災害が起こった直後、1日ほどで計算してくれました。今は彼に頼めば、こういう計算を2～3日で全部やってくれます。ただ、等深線図、海底の地形だけは打ち込んでおかないと駄目なのです。そしてランドサットなど、いろいろな気象衛星からのデータがもらえれば、1日か2日もすれば全部計算できます。

これは色によって波高の大きいところ、小さいところをずっと並べていった図で、青色のところは波高が小さい、黄色のところは少し大きい、赤になると大きい、黒っぽい赤はもっと大きい、紫色になるとさらに大きいというように色で示しています。当初はそんなに大きな波ではなかったのです。しばらくすると、日本海の真ん中の辺りは相当大きくなっています。しかし富山湾はまだ小さいですし、七尾湾はまさに小さいです。そして風が非常に長く吹き、強く吹いてきたら、日本海の真ん中はピークの波です。20mぐらいの波が来ている可能性があります。しかし、富山湾の中はまだ黄色ですから、大したことはありません。そのうち、赤色がだんだん強くなってきましたが、やはり湾外は大きく、湾の中はまだ小さいということです。このように波高分布を空間的に示しました。

今度は1点に着目して、時間的な波高・周期の変化を調べてみます。これは入善の計算値です。入善には生データがありませんので、hindcastingとforecastingという2種類の計算値を比較します。hindcastingというのは、すべての気象データが分かった後に波を計算するものです。forecastingというのは、そのときまでの気象データで未来の波高・周期を予測するという未来予測がforecastです。二つを比較すると、周期も波高もほとんど一致しています。つまり、未来予測が正しくできるという意味です。

それから、輪島は生データが取られています。そうしますと、波高は大体傾向は合うのですが、ピークのところは少し大きな波高が出ています。周期は全体に実測値の方が大きくなります。この傾向がこのプログラムではあるのです。多少直したいという気がします。しかし、大体予測がつかます。

また、直江津も生データがあるのです。元の運輸省が取っています。これで見ても、波高はぴったり合いますね。周期は少し大きいですね。

このように、今は2週間以上先の予測が正確にできるということで、防災上、非常に発展したといえます。

実際に起こった被害の状況を見てみます。これは先ほど言ったような波高の大きかった場所ですが、緩傾斜護岸、斜めのところは波がバーッと乗り上がってきてしまいます。ですから、緩傾斜護岸は災害に対しては弱いのです。人が海に近づくには便利ですが、波の

防災に対しては弱いのです。直立堤もあったのですが、波で吹き飛ばされて壊れてしまいました。また、直立堤の上へ越波していき、中の木が引き抜かれて運ばれたり、家もつぶされたりしました。

これは海岸線で壊れたところですが、ここは離岸堤という防波堤を造ってあったのです。しかし、激しい波でたたかれて、砂が動きますので、沈んでしまったのです。

それから、人間が出入りするために、海岸堤防の途中を切って、そこをゲートで閉めていたのですが、ゲートは波の力で吹き飛ばしてしまいました。これぐらい波の力は大きいのです。寄り回り波がバーンと来る勢いで、海岸堤防の切れ目を閉めてあったゲートが吹き飛ばされたのです。波が集中して波高が大きくなると、ものすごく大きな力が働くのです。

そういう波力による被害と、もう一つ別の被害があるのです。大きな波がどンドン防波堤や海岸堤防をたたきますと、やはり構造物も揺れるのです。それと、堤防の前の砂がなくなってしまう海岸の場合は、堤防の下の方から砂が吸い出されてしまうのです。そうするとコンクリートで造っていた裏側が空洞化するのです。今回も3.35mの大きな空洞が見つかりました。これはまだ上が落ちなかっただけでしたのですが、ドリルで穴を開けてみたら3m以上の深い穴がありました。昔の例だと、ひどいときには中を波が行ったり来たりしているものもありました。そのように棚落ちといいますか、中が空洞化しているものが海岸道路上は幾らでもありますので、あまり上で飛んだり跳ねたりしない方がいいと思います。ドーンと落ちたら大変なことになります。人間は普通は大丈夫ですが、トラックなどが乗ったりすると、ドーンと落ちることがあります。

そういう空洞化という現象は今回の災害だけではなく、常に起こる災害なのです。例えば下新川海岸です。生地浜の角、富山湾の北の方の曲がり角のところ。これは50年前の海岸です。この白いところは砂浜で、波が砕けているところです。左側が海です。右側が防波堤・海岸堤防で、黒いのは堤防の影です。ここに砂浜があったということですが、50年後の現在、2008年、ここはもう砂がないのです。波消しブロックをたくさん入れて、波当たりを弱めています。それでも足りないで、少し沖に離岸堤が置いてあるのです。少し沖にというのは、ここは非常に急勾配で、6分の1勾配ですから、遠く離れると深くなり、ものすごい量のブロックが要るので、離岸堤は少ししか離すことができないのです。

これは実は全部空洞化しているのです。砂があるうちはいいのですが、なくなると波が当たって揺らされて、矢板を打ち込んでありますが、堤防の下の砂の方が重いですから、砂は水で流動化して軽い方へ逃げ出します。最後には矢板も割れてしまい、空洞化し

でドーンと落ちて、堤防がバタンと倒れるのです。こうやって常に壊れ続けていくのです。

それで、なるべく波が当たらないようにしたい。そうすることが人間の住んでいるところを守ることであるということで、防波堤を置きます。しかし砂浜がなくなると、防波堤や海岸堤防も棚落ちして落ちてしまいます。従って、波は外で止めたいのですが、富山湾は急に深くなるので、ブロックを積んでいたのでは間に合わないのです。あるいは猛烈にたくさんのブロックが要りますし、急斜面だからブロック自体が海底谷の方へ転がり落ちていくこともあり、普通の離岸堤では駄目です。これは突堤と離岸堤の間のような特殊な形の離岸堤・突堤で、パイルを打ち込みます。

鋼製のパイルを打っておいて、その上に床板をはめ込んでいくという特殊な防波堤で、これを「有脚式離岸堤 (VHS)」と呼んでいます。あるいは「突堤」といってもいいです。これを4基造る予定で、2基完成していたところだったのです。しかし、このおかげで、陸地側への波の入りは約5割減らすことができました。極端に言うと半減できたと考えられています。それで生地鼻の被害は少なくて済んだのです。今は急いであと2基を造ろうとしています。これは十数年前から造っていました。

もっと前に造られたのが、入善沖にある同じような形の離岸堤です。商品名としては「CALMOS」という名前になっています。これも有脚式です。そういうパイルを打ち込まないと、急に深くなっていますので安定しないのです。下の方はパイルだけで水が通っていても、波というのは上の方が激しく動きますので、上を止めればいいのです。それで有脚式を造ったのです。それまでは海底から積み上げていたのですが、そうなるあまり深い所では造れないのです。浅いところのブロックは昔の離岸堤の名残です。こういう有脚式をどんどん造ればいいのですが、ものすごくコストが高いのです。1m当たり1000万円以上、10mで1億円というような値段です。ですからこれも、四つ一度に造ろうと思ったけれども、徐々に造らざるを得ない状態です。

これは実際に陸地から見たときのCALMOSで、長さは200mあります。

今度は伏木富山港の被害の説明をします。小矢部川の左岸側に伏木富山港があります。ここは特定重要港湾で、外国貿易上極めて重要だということです。日本海側では新潟と伏木富山港の二つが特定重要港湾になっています。船が泊まるために波を止める必要があり、そのため、沖に一文字に防波堤があります。ところが、これがやられました。拡大してみると、一番ひどいところはケーソンが12m動きました。小さいところは1mぐらいしか動いていないのですが、なぜこんなに大きく動いたのでしょうか。

実は平成 16 年には、今回よりももっと大きな波高、7 m ぐらいの波高が来たのです。去年の寄り回り波は 5 m もなかったのです。しかし、前は大丈夫だったのに今度はやられたのです。なぜやられたか。作用時間が 22 時間と長い時間作用したので、だんだん動いていたのです。それから周期が、平成 16 年のときは 8 秒か 9 秒ぐらいでしたが、今度は 14 秒ぐらいの長い周期だったのです。周期の長い波が長い時間作用したので、防波堤が動いてしまったのです。災害復旧費が 40 億円近く下りてきましたので、地元は何とかカバーできたのですが、次いつ起こるとも限らないので、予測して対策をとりたいと思っているわけです。寄り回り波災害についてはこれで一応一段落させていただきます。

3. 最近 15 年間に関与した事業

私は十数年間、日本中で幾つもの事業をやってきました。特に日本海側を幾つもの事業をやってきましたので、防災という問題・海岸侵食の問題・港湾保全・環境保全・エネルギーといったことを全部含めて、十数年間の総括的なことを、この機会に発表させていただきます。南の方から北の方へ向かって説明したいと思います。

まず沖縄です。これは飛行機から写した写真ですが、サンゴ礁があります。茶色いところは赤土が流出しており、サンゴ礁が死んでいく可能性があるのです。実はサンゴ礁は陸地を波から守ってくれているのです。サンゴ礁はリーフというのですが、リーフを人間が造るといって「人工リーフ工法」というのが現在盛んに採用されています。赤土被害が起らないように何とかならないかと思うけれどもなかなか難しい。サトウキビ畑を切り崩して宅地にする、そうすると植物がなくなったので土が流出する、それでサンゴ礁も死んでいくという形が危惧されます。

沖縄は細長い島ですから、実は地下水があまりないのです。それで、雨水をためて人間の飲み水に、あるいは植物や魚類が生きるための水にしているのです。従って、ダムがたくさん造られています。水力発電はほとんど行っていません。その一つのダムの写真ですが、水をためておいて川へ流さないといけないというので放水しており、これは越流放水をしています。そうすると、水を急斜面に落とすときに、しわが見えます。これは rolling wave, 「転波」といいます。急斜面であるから水は落ちるのです。落ちるときに上の方は速く落ち、下の方は摩擦が強いのでゆっくり落ちます。従って、水はぐるぐる巻く、ローリングするというので、こういうひだが出るのです。これはたまたまそういうものが写っています。

これは途中から穴パイプで抜いて、壁に水をぶち当ててエネルギーを殺して、この水を川へ流して河川維持用水にしている写真です。そのときに、こういうエネルギーを捨てていることがもったいないので、このエネルギーを何とか利用してダムの水をきれいにしてくれないかと国交省から頼まれました。これは 470 億円のダムで、羽地ダムなのですが、そのときちょうど完成間近だったので、このエネルギーを利用しようということになりました。これはポンプです。ポンプというものは、電力などで回すと水を送るのがポンプです。しかし、水を入れると羽根が逆転します。従って水車になるのです。ポンプ逆転水車として利用することもあるのです。水を通して逆転させて、そのエネルギーでもってコンプレッサーを動かして圧縮空気を作り、この空気をダム湖に注入して、Dissolved Oxygen (DO 値：溶存酸素量) を増やしてバクテリアを活性化し、青潮や赤潮が起こらないようにしようとしたのです。

ただ、湖の中に圧縮空気を入れるときに、コンプレッサーはどうしても摩擦のために油を使うのですが、油を使うと水の中に油が入り、飲み水としては不適當になるのです。したがって油を使わないコンプレッサーを作ってくれと言われたのです。そこで、ピストンの中で全く油を使わないリニアクランクというクランク機構を発明しましたので、それを使ったのです。これは 100kw 相当のコンプレッサーで、普通の家は 4 kw で動いていますから、25 軒分の家を養うほどのエネルギーを使うといえますか、そういうエネルギーを利用しているコンプレッサーなのです。

このコンプレッサーは摩擦がほとんどありません。従って油が要らないと同時に、振動がほとんどないのです。これは理論的に振動ゼロのものを作ったのです。しかし、理論的ゼロといっても、実際は少し起こります。また、縦横だけはゼロにしましたが、軸方向のバランスは取っていないので、少し軸方向は振動が出ます。振動は加速度で示しています。ここに 0.2 g と書いてあります。g というのは重力加速度ですが、ちょうど手元にあった髭剃器の振動が 0.05 g ぐらいです。それと比べても、ほとんど遜色がないほど小さな振動しか生じないのです。

100kw のコンプレッサーが動いて髭剃器程度の振動しかないということは、私は幾つか特許を取ったけれども、これは会心の作だと自分では満足しているのです。しかし世の中はなかなか使ってくれないのです。これは 500 円玉を置いても、500 円玉が倒れないほど振動がないのです。これは実際に今でも沖縄で動いています。水のエネルギー、自然エネルギーを利用して勝手に空気を作ってくれています。

この空気を噴水にして飛ばすと、空中を水が飛びますから、水は酸素をたくさん引っ付けて水中へ入るわけです。ですから溶存酸素量が増えます。それから表層曝気でワーッと吹くと、表層に空気がたくさん入ります。それから深層にも入れます。50m, 60mの下からでも吹き上げることができます。そうすると、水を循環させて、温度躍層を生じさせないようにし、表面が熱くなるのを防ぐというようなこともできます。これを今、自動的にやっています。これは成功例の一つです。

これも成功した例の一つですが、島根原発（松江原発）です。これも頼られました。私は原子力発電所は3カ所関与しており、敦賀原発と志賀原発も関与しました。島根原発は一番最後に関与したのですが、1号機・2号機ができており、冷却水を吸っているのです。なぜ水を吸うかという、原子力発電というのは、本質的には火力発電と一緒になのです。要は水を熱して蒸気にし、その蒸気をもう片方で冷やすと蒸気の流れが出ます。その激しい流れでタービンを回して発電するのです。従って、水を吸って冷やすという冷却水が必ず要るのです。

それで1号機・2号機は既に水を取っているのです。ところが、3号機を作りたいと言いだしたのです。そうすると工事中に泥やシルトが出て、濁りが出ます。濁りが吸い込まれるとまずいのです。濁ったものが冷却水としてパイプの中に入り、磨耗させると大変なことになります。従って、濁りは入ってもらったら困るのです。ではシャットアウトすればいいのではないかというけれども、水を吸っているのですから、シャットアウトすると水が入らないようになるわけです。それから、港には船が入ってきて燃料を運んできますし、あるいは廃棄物を外へ出していきます。ですから、「船はよいよい、濁りは怖い」、こうなっているわけです。

さてどうしようかと思ったのですが、私は昔、空気防波堤、空気波を消すということの研究していたのです。私が初めてやったのではなく、九州大学の栗原先生が10年ほどやったけれども結局駄目だといって捨てたのです。その後、私の指導者からそれを何とかしろと言われて取り組んだのですが、高周波の波は空気だけで消えます。しかし長周期の波は消えないのです。そのとき、なぜ消えないかはあまり考えなくて捨てたのです。

今は分かります。空気が吹き上がるときに、高周波の波だと表面しか水は動きませんが、空気は同じところに上がりますから、その空気が流れを作って、波速以上の水の流れができると、波はもうエネルギーが上れませんかから消えるのです。しかし、長周期の波は上から下まで同じように動きます。空気の流れ自体が揺らされるのです。そうすると、同じ

ところに空気が上がってきませんので、流れが出ないのです。それで駄目だったのです。

そして、ここで工事をするのですが、できるだけ濁りが出ないようにシルトプロテクター、オイルフェンスのようなものを巻いておくのです。しかし少しは流れ出てきます。そこで空気防波堤のときの経験を生かし、二つのパイプから空気を上げることにしました。一つだけだと弱いので二つ上げようと。それから船が通るために喫水が数メートル要るのです。下の方は船が通りませんから、カーテンを上げておくのです。ここを船が通るぎりぎりいっぱいだけ開けておくのです。空気を上げますと気泡は上昇します。上昇すると、上に乗っている水に対して上向きの力を与えますから、空気が上へ上がるということは水を少しは上げているのです。水面へ来た水は両方に分かれます。分かれた水は動きます。その動く水の力で入ってくる土砂を押し戻したいわけです。船が来るときはスクリューですから引っかき回すけれども、少しぐらい引っかき回しても構いません。通ってくればよろしいです。

しかし、気泡はカルマン渦というものが後ろにできます。今日も野球がありますが、フォークボールは揺れながら落ちます。ナックルもそうです。これはなぜかという、ボールの後ろに渦ができるのですが、渦というのは対称にできるときは不安定なのです。非対称に交互にならぶ方が安定するのです。非対称な渦ができると、渦のできているところの圧力は低いですから、そちらの方へ力がかかるのです。その次に反対側に渦ができますと、揺れるのです。

泡が上がる時も揺れながら上がります。結局、泡の上に乗った濁りは、揺れながら上昇しますが、これは不安定ですから、濁りは多少は通って行ってしまいます。通っていったら困るので、二列の空気を上げておいて、中で循環流を作りました。循環流が起こると、土から下へ落ちてくれます。ですから気泡列を2本上げることにしました。

それで、200mぐらいのパイプを2本引き、コンプレッサーから空気を吹かしました。右端の方が乱れているのは1号機・2号機が取水口から水を吸っているからです。これで濁りが入ってこなかったのです。もし入ってきたらどうしようかということで、入ったら沈降剤をすぐまいて沈めようと。それでも中に入ったらどうしよう。放出するとき白い濁りが出ると漁協さんからしかられるから、放出するときは海の色と同じ色に染めてから放出したらどうかなどという冗談も含めて万全の対策をとりました。そうしないと、これは2000億円の仕事なので、失敗すると大変なことになるのです。

これは和田・高浜の海岸です。実は私は若狭湾の真ん中の小浜市で生まれました。その

すぐ近くに和田・高浜海岸という海水浴場があります。ここはひと夏で100億円を稼いだ海岸です。というのは、人間1人が来て1泊すると、大体1万円ぐらいのお金は落としてくれるのです。100万人来ると、1カ月半の海水浴シーズンで100億円落ちることになるのです。ただ、最近是不況のせいかわかりませんが、50万人ぐらいしか来なくなっただけなのですが、ドル箱海岸というか、円箱海岸というか、そういう海岸です。

ところが、私が在外研究員でアメリカに行っている間に、ここの海岸の和田港という小さな漁港を大きく改修してしまったのです。当時は、将来何が起きるかは予測できなかったようですが、それが後で大変なことを引き起こしたのです。

和田・高浜海岸の真ん中に葉積島という島があります。島の左右両方から波エネルギーが入って、この海岸線はバランスを取っていたのです。この島があるおかげで、島につながる現象（トンボロ現象）で黒松林の所が出っ張っていたのです。ところが、港の防波堤が大きくなったため、和田の方への波の入りが悪くなり、高浜の方からだけ入りました。そうしたら、エネルギーが高浜の方から多く入って、和田の方からの入りが少ないので、高浜の方の砂がどんどん和田の方へ動いたのです。これはいけないということで、途中に離岸堤というものを一つ造りました。

これが造った離岸堤の写真です。ここは景勝地ですから、汚い離岸堤を造るわけにはいけないということで、本物の石で造ってもらいました。150mで計算して、あるいは実験してそれでいいと言ったのに、気を利かせて200mの長いものを造ったので、ものすごいトンボロができたのです。ものすごいトンボロができたので、高浜の方の砂はもう和田の方へ動かないと私は判断したのですが、これは大誤算でした。というのは、高浜の方から来た砂はトンボロでいったん止まりますが、別の砂が和田の方に動くのです。つまり、実はいつも砂が入れ替わっていたのです。バケツリレーが行われていたのですが、それに気が付かなかったのです。それで、和田の方はどんどん太っていきますし、高浜の方はどんどんやせていきます。

これはもう仕切るしかないということで、間に突堤をズッと入れました。完全に仕切るとT型突堤ということになるのですが、水が通りにくくなって和田側の海水が濁るので、それを避けるために突堤の先端が少し開けてあります。それで、やはり砂はまだ動きますし、あるいは離岸堤の外からも回ります。

先ほどの大きく造った和田漁港というのは手前にあり、これが出っ張りしました。従って、波が回っていく回折という現象が起こります。回折が起こると砂浜ができるのです。従っ

て、和田の方の浜幅は 200m も伸びてしまいました。和田の方はビーチバレーやビーチサッカーなど、何でもできて喜んでおり、客は大勢が和田の方へ集まるようになりました。しかし、高浜の方は侵食されて、閑古鳥が鳴いて弱っているのです。高浜の方はいつも侵食されるので、改修工事で土建屋さんは少しもうかりますが、国費が損をしているわけです。一方、和田の方はこんなに浜幅が長いのです。水辺まで歩くだけでも大変です。それぐらい変わってしまいました。

今は毎年、人間が和田の方で砂を積んで、高浜の方に運んでおり、維持費がかかっているわけです。ですから、下手に漁港などを造ってはいけないということです。造る前に一言相談してほしかったのですが…。

これは美川の海岸の写真ですが、侵食されたときに離岸堤をたくさん置いて、離岸堤群にしたのです。そうすると、トンボロという出っ張りが連続的に出てきて、これ以上後は侵食されないのです。もちろん砂を少し入れますが、このようにして砂浜を守っています。これが離岸堤であり、ここにできるものをトンボロというのです。この大掛かりのものは人工岬（ヘッドランド）といいます。松任にあり、カタツムリのようなのです。

なぜ離岸堤を置くと砂がこのように付くのでしょうか。これが計算値です。計算すると、砂浜と離岸堤の間に循環流が出るのです。波がきますから、大きな渦ができています。その渦は、砂浜の砂を砂浜と離岸堤の間へ運んできます。離岸堤の手前は深いから砂が落ちてしまってたまるのです。だんだん砂浜と離岸堤の間は浅くなって、その代わり両側の砂浜はへこみます。しかし人間が砂を入れると、この砂はもともと砂浜にあったわけですから逃げないということで、結局トンボロが発生するのです。これはなぜか。結局、後ろへ回り込む回折波により、回折波が砂をためるといふことなのです。

つまり、回折波が起こって波が斜めに海岸線に当たると、海岸が変形するのです。つまり、バシッと砕けると流れになります。流れの垂直成分は斜面を上がって、また降りてきます。だから行ったり来たりしているだけです。ところが回折波は斜めに行きますから、横方向の成分が出るのです。これを沿岸流といいます。波が砕けるところが一番沿岸流が大きいのですが、その沿岸流が砂を運びます。昔の汀線（砂浜の線）は真っすぐですが、波が斜めに来ると、波向きに直角に新たな汀線ができてしまいます。これがトンボロを作り、あるいは防波堤の後の部分の港を埋めるというようなことを起こすわけです。

断面で見えます。冬場に大きな波が来ると、バシッと砕けた後、砂が巻き上がります。巻き上がると、真中へんの水は沖へ動いているのですが、底面と水面は岸側へ動いて

いるので、従って、冬場の激しい波で砂は沖へ運ばれ、春から夏にかけての穏やかな波で沖の砂が陸地へ運ばれます。これで岸沖方向の砂はバランスを取っています。沿岸流は砂をずっと運んでいってしまうわけです。

これは輪島の名舟漁港の写真ですが、輪島市の役人さんから、漁港の港口部が埋まって船が通れなくなった、一生懸命掘っているけれども、掘るためにかなりのお金が毎年飛んでしまう、何とかならないかといわれたのです。名舟漁港の回折波のビデオを見てみますと、これが伸びた防波堤ですが、沖から波が来て回り込んでいるのです。波というのは物体の後ろへ回り込むのです。また、波が砕けていますが、これと平行に海岸の等深線ができてしまうのです。つまり、この辺は全部埋まってしまいます。放っておけば陸地になります。つまり、波向きに直角に海岸線（汀線）ができるということなのです。従って、これを放っておけば名舟漁港は埋まります。埋まらないようにしておこうと思ったら、いつも掘るしかないのです。あるいは私に相談していただければ、名案は言います。言いますが、必ずしも成功するかどうかは分かりません。おそらく、港口部に波が真っすぐに入るように、防波堤を折り曲げたものを造るのが一つの解決策だろうと思います。

ほかの失敗例の写真がこれです。これは増穂浦で、横に富来の漁港があるのです。左が平成9年の増穂浦の写真で、10年たったときの写真が右です。実に100m、浜幅がふえているのです。これだけ砂がたまり、しかも植物まで生えました。なぜかという、富来の漁港を大きくし、大きな防波堤を出してしまったからです。従って、今は左の方の砂がどんどん手前の方へ運ばれているのです。しまいには「左の方の海岸が侵食されるので何とかしよう」という話が起こってくるはずです。

このように漁港や突堤を勝手に造ると怖いことになるのです。役人の方は強く肝に銘じておいてほしいと思います。

これは気比の松原、福井県の敦賀で、ここも同じようなことが起こっています。ここに日本三大松原の一つ「気比の松原」があるのです。「虹の松原」と「三保の松原」と「気比の松原」で三つです。この四角くくびれている地面は、松林を切ってグラウンドにした所です。これが大失敗で、切ったら駄目なのです。その右側の林の端が侵食されだしたのです。「この松が死ぬので、何とかしてくれ」と言われたのです。

実はもともと手前の港を大きく造りだしたので、波が少し回折し始めたのですが、それでやめておけばいいのに、もう一つ防波堤を造ったのです。そうしたらまた沿岸流が強くなります。それどころか、今は敦賀新港の防波堤をどんどん伸ばしています。「どうせ伸ばす

なら対岸まで全部つないでもいいではないか」とも考えられるけれども、そうすると海水が濁るので、そうはいきません。それで、松林がやられるのを防いでくれと言われているけれども、これはお酒を飲んだら肝臓が悪くなると言われているのに、“肝臓は悪くなりたくはないけれどもお酒はやめられない”というのとよく似ています。

そのようなことで、松林がやられているので何とかしろと言うから何とかしようと思ったのですが、ここは特別な砂なので難しいのです。色合いが薄茶色で、透明色できれいな、しかも粒子が大きい砂なのです。海底勾配は10分の1勾配です。千里浜などは100分の1勾配で小さいです。日本中を探したけれども、適する砂がないのです。そこで断腸の思いで、近くの山を一つつぶして砂にしようと考え、山を砂に変えるプラントを造りました。プラントだけでも億円単位かかりましたが、全体から見れば安いものです。

それで岩を砕いて砂にして、その砂を入れたのです。今、観測中ですが、入れた砂は思ったよりたくさん残ってくれました。まだ足りなかつたら、また山を砕こうということです。松林を守るために相当の山の木を殺しているのです、全体の環境破壊の面からは何をしているか分からないのですが、観光地を守るためにということで実行しました。砂浜は今はいぶ良くなって、浜幅が広がって、松林には波がかからなくなったという状態です。

これはもう少し北の方へ上がってきた福井港の写真です。九頭竜川の水が流れる左側に、防波堤を造って港を造ったのですが、これは川からの砂を抱き込むように造られたので、不味いのです。誰がこんなことをしたのだというけれども、波が左側の沖の方から当たるので、このように造ったのでしょう。しかし、河川流出土砂で港が埋まりやすいのです。

そのために福井新港といって、もっと大きく掘ったのです。掘った砂の捨て場がないから積み上げて陸地にしたのです。ここを石油備蓄基地にしようということで、83mのオイルタンクを30基並べたのです。日本で4番目に大きい石油備蓄基地です。これは福井ではあまり使っていません。京阪神が使っているのです。埋立地は元の海岸線に対して相当出っ張ったわけですから、海にすれば、勝手に出てきたのだから元へ下がれと。そうは言わないけれども、自然は元へ戻ろうとします。そうすると、ここの石油備蓄基地は波当たりがきついで、侵食されるのです。この備蓄基地が倒れると、一つのタンクに何万トンかの油が入っていますから大変なことです。「これを守ってくれ」と言われて、7～8年前からやっています。

これが石油備蓄基地の図面です。出っ張っていますから、堤防前面は水深が10mあります。波当たりが激しいわけです。しょうがないので人工リーフを入れようということで、

11 基の人工リーフを入れ始めました。現在は 1 基完成して、2 基目を造り、次に 3 基目を造ろうとしているのです。ただ、ここはオイル備蓄基地なので、タンカーがシーバースという“浮き”に泊まって給油するために、“浮き”から海底にパイプが引いてあります。そのパイプを守るために、小さな離岸堤が二つ作ってあります。ところが、離岸堤の後ろがよく掘れていたのです。

離岸堤を造って掘れるというのは何事か、かえってまずいではないかと言ったのです。従って人工リーフを造らずに、ここを二重防波堤にしてくださいと私は一生懸命頼んだのですが、どうしても離岸堤を造りたいと言って、新潟の北陸地方整備局が二こぶブラクダの人工リーフを造りたいと言い出したのです。しょうがない、そうしましょうということのでやりだしたら、造った後でものすごく掘れだして、造る前よりも 1 m ほど深く掘れだしたのです。

造ったらなお悪くなって、石油備蓄基地が砕けたらどうするのか。これは全体で 200 億円の予算で造っているのです。耐震の地盤補強費もかかりますから、200 億円以上かけて造ろうとしているのです。私にしてみると、1000 万円ぐらいなら私の生命保険で償えるかもしれないけれども、1 億円、2 億円となると、もうどうしようもないのです。ですから、あとは野となれ山となれとは言わないけれども、あとは若い人に任そうと思っているのですが。とにかく、垂直壁の前に人工リーフを造るということは初めての試みなので、相当怖いのです。急いで実験をやらなければいけません。この洗掘を防ぐには、リーフまでの突堤を造ろうと思っているのです。沿岸流が流れないように、突堤で仕切ってやろうと思っています。もう少しお金がかかりますが、まあいいでしょう。

結局、人工リーフが今のはやりなのです。これはオーストラリアのグレートバリアリーフで一番大きいサンゴ礁の写真ですが、こういうものを人間が造れないかということで始まったのです。いま造っているのですが、海の中で積んでいくとあっという間に冬が来ます。冬が来たら造っている途中の部分は波で飛んでしまいます。従って、陸上で造っておいた人工リーフを沈められないかということで試みたものです。この人工リーフは少し重く、約 1000 トン近くあります。これは 3000 トンまでつれるクレーンです。日本に 11 隻あります。このレンタル費用たるや莫大なものです。1 日数百万円はかかります。というのは、30 人ほど乗って作業するので、人件費だけでも大変です。また、普段は太平洋側にありますから、ずっと回していく間の日にちのお金を全部払わなければいけないので大変です。海が荒れると 1 週間、2 週間待ちますから、その間全部レンタル費用を払わなければ

いけないのです。従って、この人工リーフが大きすぎるとにっちもさっちもいかないで、今、人工リーフを三つぐらいに割って、小さいものを幾つも入れていこうという方法に変えています。これを美川で実験しましたが、今のところ成功しています。

これは先ほどの美川の離岸堤です。離岸堤は海上に見えるので、景観上見苦しいのです。ですから沈めたいのです。

小松にも、金沢に近い方に離岸堤があるのですが、ないところは毎年壊れるのです。毎年壊れるからお金がもったいないので何とかならないかということで、私もアイデアを出して、くさび形のブロックを造りました。左右上下全部連結して3方向連結ブロックのように、九つのブロックをつないで人工の岩礁のようなものを造って見たのです。これは一つ2トンで、九つです。2トンぐらいのものなら軽くつれますので。これは、こうやったら離れないのです。離れないからそのままあります。もちろん全体の砂が下がりますから、冬場になったら全部下がります。春になると砂は帰ってきますから、今は上に砂が1mほど乗ってしまって、海中の砂の中にありますが、ばらばらに飛ばなかったので大成功です。

ついでに岩模様をつけようということで、岩の上に熱くしたゴムを張り付けて型を取り、その上にコンクリートを入れて岩肌を造りました。さらに生物的なものが付着するかどうか、海草が付くかどうかということで、本当のコンクリート、コンクリートに色を塗ったもの、七尾の珪藻土を混ぜたものを3つずつ入れました。やはり珪藻土ですから、穴が開いていますから、これに一番よく孢子が止まりました。ですから、これはエココンクリートと言えます。

その実験をやったときに、輪島の大蛇の瀬という岩があるのですが、その先がブロックばかりが見えて格好悪いので、コンクリートで偽の岩を造ってくれということで擬岩工法を施しました。これは今でもちゃんとあります。金賞を受けました。外から見たときだけ岩に見えます。見る人をだましているのですが、表彰されました。

これは小松の別のブロックの写真です。私の造ったブロックは試験施工したのですが、横から吸い出されて落ちたのです。1回失敗すると、私の失敗は金額が大きく、億単位になるので、もう1回使えとは言いにくいのです。違う種類のものを造りたいという人が出てきたので、「ラップハング」という屈とう性のあるものを造って入れました。一つ7トンの大きいものです。これは連結したままで回転できるので、下の石が動いても追従して行って飛散しません。ブロックは10年持てば上等です。3年で壊れると早いのです。1トンで大体1万円です。そのようなものをたくさん入れました。

これは水平に入れると、この上で波が砕けます。波を止めるために二重の防波堤にしておこうということを試みています。奥の方は普通の離岸堤で、小松にこういうものがあります。これが長持ちすれば、この工法がいいということになります。常に現地実験をしているわけです。

結局、こういう護岸がいつも壊れるわけです。なぜ壊れるか。下に砂があり、止水マットがあり、蛇籠を入れて水抜き場所にし、上に硬いものを入れているのですが、止水マットが破れるのです。ですから下の砂が吸い出されるのです。それで長持ちしないのです。

今度は港の話です。金沢港に13m岸壁を造りました。金沢の代議士さんが178億円をあっという間に持ってきて、「さあやれ」といってすぐ造ったのです。ここに4万トン級の貨物船を着けて、コマツの重機をアメリカへ売ろうと考えています。ところが、経済不況になって重機が売れにくくなったようですが、それは別として、港を掘ったときの砂を運ぶために、パイプで金石の方に運んでいるのです。

運んだときの砂を顕微鏡写真で見ると、このような感じで細かい、きれいな砂です。私は「この砂を金沢港の沖で捨ててくれ、そうすると自然に海流に乗って千里浜まで養浜されるから一石二鳥だ」と言ったのですが、一たん吸った砂は海へ勝手に放ってはいけません。廃棄物になるのです。それで金石の方で海を埋め立てました。今もどんどん埋め立てています。ここを広場にして、有効利用しようとするはずですが。

今度は千里浜へ話が行きますが、千里浜の砂を顕微鏡写真で見ると、こんなにきれいなのです。ガラスのように見えます。茶色いものもありますが、みんな石英で、ガラス質です。私は砂を見てから、ダイヤモンドやルビーや猫目石や犬目石など、全部捨てました。もう要りません。砂を見ていればダイヤモンドと一緒にですから。砂というものがいかにきれいかということです。

なぜ千里浜で車が走れて、こんなにきれいな細かい砂が集まったかという、実は手取川から砂が出ます。洪水のときなどは特に出ます。そうすると、対馬海流が横から当たってきています。粗い砂は近くに落ち、細かい砂は遠くまで行きます。そうすると、自然の篩い分け作用、海流の作用で、手取と対馬海流で千里浜ができたのです。

私はここへ32年前に来たのですが、来た直後、海岸の砂を集めて回っては篩い分けしてみたのです。そうすると、川などから出たものは粒子が粗く、遠ざかるほどにだんだん細かくなっているのです。顕微鏡写真で見ると、河北潟・白尾・高松・米出・千里浜・滝港・浚渫砂、海底を掘った浚渫砂の順に細かいのです。これが千里浜です。

こういうところだと走れるのですが、宣教師の人から、アメリカでも走れるところがあると言われたので、行ったついでに見に行ったのです。これはデイトナビーチというところで、フロリダ半島の少し北の方にあります。これは幅が広く、200m以上ありました。距離は十分測ることができなかつたけれども、千里浜の2倍から3倍で、数倍のスケールがあるような感じでした。

ここの砂は実にきれいなのです。全部ガラスです。そのまま溶かせばガラスそのものです。千里浜も多分ガラスになるでしょうが、これは完全に透明です。見ると白く見えますが、透明なのです。マイアミビーチの砂はガラスで透明で白いのですが、こすられて白くなっています。ここは多分車は走れないと思います。デイトナビーチは走れるということです。

ついでに、鳴き砂の浜というのが門前の辺にあります。キュッキュッと鳴ります。これはガラスの摩擦音なのです。また、これは先ほどの浚渫砂の写真で、浚渫砂がいかに細かいかということです。このように、いろいろなところの砂の色、形、趣が全部違うので、海岸の砂だけでも相当面白いのです。

4. 地球環境問題とエネルギー問題

さらに大きく話を広げ、今日の最後の話にしたいのですが、地球環境問題を言いたいと思います。地球環境保全とエネルギー問題は表裏一体で、人類的課題です。この二つを解決しない限り、人類存続はできないかもしれないといわれているぐらいです。

地球環境問題には何があるかという、まず温暖化問題です。これは二酸化炭素が増えすぎて、海面上昇して、異常気象が起こってというような問題です。それから酸性雨問題です。これは $SO_x \cdot NO_x$ というのですが、水が酸性になるわけで、生物が死んでいきます。それからオゾン層破壊です。これはDNA、要するに紫外線のために生物の持っている遺伝子が破壊されて、生物がどんどん死んでいくということです。それから森林破壊、資源の枯渇、生物種が減る、土地が砂漠化する、廃棄物など、地球環境問題は事欠きません。たくさんあります。

それと同時に、エネルギー問題です。エネルギーは、太陽のおかげで蓄積した貯金を全部使い果たしかけているのです。石油や石炭、それから天然ガスもそうです。石油は太陽だけでできたかどうか分からないらしいのですが、石炭は完全に太陽のおかげで植物が石炭になったわけで、それを使い果たそうとしています。石炭はあと200年でなくなります

し、石油はあと 40~50 年でなくなります。原子力は大エネルギーが採れるので良いのですが、原子力の原料のウランそのものが 40~50 年でなくなるかもしれません。核融合に持っていきたいけれども、いつまでたっても実行できません。なぜなら器が溶けてしまうので、無理だと。では、プルサーマル計画で一遍燃やしたウランから出たプルトニウムをもう 1 回燃やせないかということをやろうとしています。敦賀の「もんじゅ」が 1 回失敗したので、なかなかうまくいきません。では自然エネルギーでいこうというのですが、水力は少しは使える、風力も少しはいいというけれども、量が少ないのです。

結局、太陽エネルギーだと思います。直射日光は「仕送り」です。人類は貯金がなくなったので、仕送りで生きようとするしかないのです。太陽は 1 m^2 当たり 1.35kw のパワーを持っています。 1.35kw ということは、この 3~4 倍あれば一家を養えますから、 4 m^2 ぐらい、つまり畳 2 枚ぐらいあれば太陽の光と熱だけで一家は動いていきます。ただし 100% 効率がよくないと駄目です。今は 20% まで取れます。ただし作るソーラーパネルが高いのです。またソーラーパネルはあまり長持ちしません。ですから、元を取る前にやられるのです。そこが問題です。

ではどうするかということなのですが、無駄遣いをやめましょうという哲学も要るのです。画期的な科学技術の進歩も要りますが、考え方、“足るを知る”という“知足安分”，あるいはリサイクルというような哲学も要るわけです。

そういうことで、人類の未来はどうなるのでしょうか。滅びるのか、生き延びられるのかを見るために、歴史を振り返ってみます。137 億年前に宇宙ができました。どうしてできたかは誰も分かりません。しかし、零点何秒か後からは全部シミュレーションできるようになっています。それから地球ができたのは 46 億年前で、生命発生が 36 億年前ということで、約 6 億年前までは生物の助走期間といわれています。

ここからようやく古生代・中生代が始まって、恐竜の死滅でもって中生代が終わり、その途中 5 回ぐらい生物絶滅の危機が起こっているのです。そういう中で恐竜が 6500 万年前に死にました。そのおかげで小さな哺乳類が大手を振って生きられるようになり、約 700 万年前に原人の元ができて、約 400 万年前に北京原人（シナントロプス・ペキネンシス）とジャワ原人（ピテカントロプス・エレクトス）が生まれたといわれています。それから 10 種類ぐらいの人類が発生したけれども、全部死んで、われわれホモサピエンスだけが生き延びたのです。16 万年前に生まれて今になったと言われています。つまり人類は 16 万年の歴史しか持っていないらしいのです。

その6億年間の現在の炭酸ガスの量と気温との関係を調べた図があります。約6億年前から恐竜が死ぬまでの間の古生代・中生代の間、気温と炭酸ガスの変化の凸凹はぴったり一致しています。二酸化炭素が増えているときは温度が高いのです。温度が高いと二酸化炭素が増えるか、どちらが先かは分からない要素もあるのです。一緒に現象が起こっているのかもしれませんが。どちらかが原因で、どちらかが結果かもしれませんが、一緒かもしれません。一応は炭酸ガスが増えると温室効果になって気温が上がると考えられています。

そして16万年前に今の人類がようやく発生するわけですが、炭酸ガスの量と気温はぴったり一致しています。寒いのは氷河期で、暖かくなるときに最後にもう1回少し寒くなるのですが、これはヤンガードリアス寒冷期といいます。寒の戻りが起こるのです。

なぜ氷河期と、氷河期ではないときが起こるのでしょうか。これは簡単な理論で計算できるのです。太陽があり、地球が回っています。この理論解を出すと、「地球は楕円軌道を描く」という答えが出るのです。楕円は焦点が二つあります。一つの焦点に太陽があり、もう一つの焦点には何もないのです。この楕円軌道がぶれていって円に戻り、円がまたぶれていって楕円になります。これを繰り返しているのです。この周期は40万年と10万年の2種類あるといわれています。周期は結果的にそうだろうといわれており、理論では出ないと思います。

では、なぜ氷河期・寒冷期が出るかという、鉄棒の大車輪などの体操の競技、あるいは最近はやっているスケートのビールマンズピンなどを思い出してほしいのです。真っすぐに立って、回転半径が小さいときは速く回りますし、手足を広げるとゆっくり回ります。つまり、振り子は半径が小さいときは速く動き、半径を長くするとゆっくり動くのです。それで、太陽に近いところは速く動き、太陽から遠いところはゆっくり動くのです。楕円軌道になったとき、夏は素早く通ってしまいますからすぐ過ぎ去って、冬はゆっくり動きますから長いのです。夏に氷が溶ける前にスーと素早く通り、冬が長いので、氷河期になります。

これは理論でいくと、ニュートンの運動の力学で簡単に分かります。 $F = m a$ 、力は運動量の時間微分であるということから出るのですが、それに半径を掛け算すると、地球に対して回そうとする力（モーメント）は今はいかかっていませんからゼロです。ゼロだったら時間変化がないから一定値です。一定値ということは、速度と半径を掛けたものは同じ値です。つまり、半径の小さい所は速く動き、半径の大きい所ではゆっくり動くということになるのです。

そういう理由で氷河期と間氷期が出るのですが、今から言いたいことが重要です。40 万年前と現在がぴったり一致するのです。これで未来予測をしようということに今なったのです。実線と破線がよく合っていますね。実は氷河期は海面が 160m 下がっていたのです。それが 1 万 3000 年前に近づき、どんどん暖かくなっていきました。そうすると蒸発が激しくなるのです。蒸発が激しくなると雨もよく降るのです。雪もよく降ります。従って、また冷えるのです。地球は水冷式のクーラーになっているのです。冷えると寒の戻りが起こるのです。寒の戻りが起こると蒸発もあまりなくなります。そうすると、もともと太陽に近いところでゆっくり動くようになっているから、また溶けていって、今度は寒の戻りが起こる余裕もありません。起こってはいるのですが、目立たないということで暖かくなっていくのです。40 万年前も寒の戻りが起こっています。1 万 3000 年前はここで起こっています。少しぶれていますが、大体合っているのです。

ですから、40 万年前のことから未来予測をするとどうなるか。これは今暖かくなっているのです。しかし、1 万 2000 年後か 3000 年後からは冷えます。そこからは、暖かくしたい、何とかしてほしいといっても冷えていって、海面が下がります。大陸も全部陸伝い、氷伝いで、ずっとアラスカも北アメリカも全部通って行けます。

そのような時代になるので、1 万年待てば温暖化はなくなります。しかし、そんな悠長なことを言っていられないというのが本音です。

では、近未来はどうなるのでしょうか。そこでラディマンの気温予測を見ると、ここが 1 万 3000 年前で、先ほど最初に言った海没林があるところです。ラディマンという人が言うには、人為作用が無ければ、どんどん暖かくなってきた後、本来気温は下がるはずだと言っているのです。これも予測にすぎませんが。ところが現在、気温はそのままで。なぜか。これは実は農業をやるとメタンガスが出て、メタンは温暖化ガスで、炭酸ガスの何百倍もの温暖化ガスです。それで 0.8℃上がったと見ているのです。その後、ジェームスワットが蒸気機関を発明したので、石炭を燃やしてどんどん熱が出てきて、工業文明による熱が 0.6℃気温を上げ、自然の状態より合計 1.4℃上がっていると言っているのです。本当かどうか分かりませんが、まだまだ上がると予測しているのです。どこまで上がるか？化石燃料がなくなるか、人類がなくなるか、どちらかまで上がり、その後は下がる、そういう予測がなされているのです。

気温が上がりすぎると異常気象になります。異常気象が富山の寄り回り波を起こし、この間の浅野川の洪水も起こしたことになっているのです。あるいはエルニーニョ現象を起

こしているのです。ですから、これを避けたいというのが本音です。

では、エルニーニョはなぜ起こるか？というと、海の水は回っています。回っているというのは地球が自転しているからです。海の水は地球の自転方向とは逆に振られています。そうすると、太平洋の水はユーラシア大陸の方へ当たっていきます。それが黒潮になり、日本海側へ入ると対馬海流になって千里浜の砂を作ったわけです。ただし地球は球ですから、赤道の辺の水で通り抜けていったものは大西洋へ行き、北極で冷やされて、そこで潜り込むのです。潜り込んで、海底 3000m 下をずっと通って冷やされて、つまり熱を下に与えて、一応 2000 年で 1 周期回って来て、太平洋の北極近くで、わき上がってくると考えられているのです。

ところが、気候があまりに暖かくなると北極の氷が溶けてしまって、北極の水が軽くなるのです。水が軽くなると潜らなくなるのです。従って、いつまでも上にあるのです。そうすると、鉛直方向の熱移動がなくなりますから、海面が熱くなりすぎて蒸発が激しくなり、台風の大型化、異常気象、エルニーニョ現象を起こすということになっているのです。

「そういう地球環境を何とか救おう」と考えたということですが、まず自動車、これが環境悪化に非常に悪影響を与えているので、良いエンジンを作ろうと十数年前に思い立ち、実行して、完成しました。リニアクランク式エンジンを作ったのです。自動車の車体は適当に作りました。1 万円の自転車のタイヤを買ってきた安上がりのものです。実はこの自動車でガソリン 1 リットル当たり 700km 走ったのです。鈴鹿サーキットで「エコラン」というものがあり、1 人 4 万円か 5 万円を出すと誰でも出場できるのです。500 台出場しても、完走できるのは 400 台ぐらいです。あとは全部途中で動かないようになったりするのです。技術賞は 1 人しかもらえないのですが、4 回出て 2 回技術賞をもらいました。

なぜ貰えたかと言うと、エンジンを作ったのはわれわれだけだったからです。普通、エコラン用のエンジンは売っているのです。それを買って、みんな使っているだけです。しかし、われわれは自動車は安上がりに作ったのですが、エンジンで勝負したのです。乗る人間は、70kg の人間が乗りました。プロの連中は 30kg 台の女性のプロのドライバーを養っているのです。トヨタやマツダやホンダなど、そういうところにしてみたら社運を懸けてトップを取りたがっているわけです。われわれは 16 位でした。優勝したところは 900km 走りました。これらの自動車会社は、ものすごいお金を突っ込んでいます。われわれはお金がないのでタイヤは 1 万円のもので勝負しているのですが、それにしては 16 位はましな方です。しかし、賞だけは 2 回もらいましたから。

なぜそんなエンジンができたのか、これから説明します。普通、クランクというのはこんなものです。ロータリーエンジンもありますが、通常はレシプロ式で、爆発するとピストンが回転します。あるいは回転させると上下動します。ですから、圧縮空気を作るコンプレッサーとエンジンは、ちょうど逆関係にあるわけです。普通はこうなのですが、斜めに動くと横向きの分力が出るのです。これがシリンダーを揺らすのです。これをトラスト力というのですが、振動を小さくするために自動車のエンジンは多気筒エンジンになっているのです。1気筒だと揺れすぎますし、バイクは1気筒が多く、振動が大きいわけです。

われわれが作ったもののアイデアはもともとあったのです。ただ、今まで1回も回らなかったのです。回すのに成功したところに価値があるのです。これは大きな円に内ギアが付いています。その中に半径半分の円を転がします。転がすと1点は真っすぐ動くという幾何学があるのです(ハイポサイクロイドセオリー)。普通の平たいところを回すと、1点はサイクロイド曲線を描くのです。もし下が土管のように丸まっていたとします。中をぐるぐる回ると、半径が半分なら1点は真っすぐ動きます。これで回転運動と上下運動が引けました。ただし、これは遠心力を与えますから、自転による遠心力と公転による遠心力の二重バランスを取らなければいけないのです。これは簡単な古典力学で取りました。

それで作ったエンジンがこの写真で、これが走った自動車のエンジンの部分です。

もう少し力学的に言うと、中でぐるぐる回る遊星ギア(プラネットギア)の自転に対して、ピストンロッド・ピストンヘッドがありますから、この重さに対応するもの、バランスを取るものが一つ要るのです。全体が公転しますから、公転バランスでもう一つ要るのです。二つの баланサーをうまく入れれば、理論的には完全にバランスが取れます。それで少し回転したと考えて計算すると、簡単に力関係ができます。そうやって作ったのです。

これは1気筒ではなく対抗2気筒で、真っすぐ動きますから両方に筒があってもいいわけです。片方をコンプレッサーで動かして、もう1回圧縮空気を作って、その圧縮空気を水を通して冷やして、その自分で作った圧縮空気でもう1回自分を動かすのです。要するにターボ的に使うと効率がいいのです。

それで、半周期で圧縮空気を作った後に、ぎゅっと圧縮するときに、もう一方の方をぱっと開くと「断熱膨張」といって冷えるのです。これは空気を吸い込んでおくだけです。圧縮してぱっと開くと、ものすごく冷たい空気が出るのです。これは1分ほどですぐ90℃ぐらい下がります。ですから、ノンフロン冷風発生機を作りたかったのです。

これが作ったものの写真です。半周期ごとしか空気が出ませんので、3段階に並べてお

いて位相を 120°C ずつずらしておくで一応平均的な流れになりますので、3 段積みにしたのです。

ついでですから、もう一つ、自然エネルギー利用の研究をやっています。これは波によってこの板が揺れるように作ってあるのです。板の動きで圧縮空気を作ろうというものです。圧縮空気ができさえすれば、発電もできるし、あるいは水中に空気を入れてエアレーションにも使えます。つまりプランクトンが喜ぶ、魚も喜ぶ、そして魚礁になるということで、圧縮空気を作ろうというのをやったのです。今、科学研究費をもらってやっています。

これはギアが二つあり、波を受けて振れる板を作っておいて、それに反転ギアを一つ挟んでおき、自転車の後輪のようなラッチギアの付いた歯車を入れておくと、どちらに振れた場合でも同じ方向に回転します。つまり、両方の動きが同じ回転運動になるので効率がいいのです。これで圧縮空気を作ることを研究しており、動画で見てくださいと分かりやすいかと思います。

これが自動車の骨組みで、これがそのエンジンです。これがピストンロッドで、真っすぐ動きます。上に筒があるのです。真っすぐ動いて回転しているでしょう。つまり横ぶれがないので振動がないのです。軸方向振動だけはまだ取ってないのですが、理論的にはこれも取れます。スピードは 100km でも 120km でも出ます。スピードは幾らでも出ます。摩擦がないわけで、しかもロングストロークということです。専門家の人はロングストロークエンジンというに分かるのですが。

これが 3 段積みにしてある冷風発生機です。これで 90°C 下がりますから、温度計はマイナス 50°C までしか測れないものなので、振り切れてしまって、マイナス 50°C で終わってしまいます。これは 6 気圧で動いています。

これが最初に言った 100kw のモーターで回しているコンプレッサーです。普通はコンクリートの中にアンカーを打ち込んでおかないと動いて、危なくてしょうがないのですが、今の場合、直置きしておいても全く振動はありません。自然エネルギーを利用するときの難しさは、大きなエネルギーの場合も、小さなエネルギーも両方生じるのですが、どのようなエネルギーの場合でも機能してほしいということで、筒を 10 個付けてあり、エネルギーが大きくなると全部が動くように自動制御してあります。

これは説明しなかったけれども縦軸風車を作ろうということで、羽根が勝手に動いて、風を受けると開いて大きな力を受けるような、羽根が揺動するような縦軸風車を作ってみ

ました。まだあまり成功していません。水車としても当然使えます。秒速1mぐらいの水が入ってきているのですが、抵抗を受けて回って、逆流では閉じます。これは横軸にしても動きます。

これが波力水車です。波が来て振れます。これは第2世代、2番目のものです。これは実験室の水槽で、高さ1.8m、幅1mあります。水深50cmで、20cmぐらいの波です。こうやって波が来て、板に当たります。板は高さが90cmで幅が80cmの小さい板です。この板が力を受けて揺れます。揺れると、上で先ほどのコンプレッサーが機能して空気を発生させます。気圧は高めることは幾らでもできます。大きな力を受ければ気圧を高めることができますから、5気圧でも10気圧でも作ることができます。これは逆に動いたときも同じ方向に回っているでしょう。ギアによって1方向に整流しており、ここでコンプレッサーが上下動して圧縮空気を作っているのです。

この装置は科学研究費で作っていますから、あまり高いお金はかからないのです。安くできます。ただ、今度海に持っていきこうと思っているのですが、適当な波がないのです。大波浪ではこれはぶっちぎられるかも知れない、あるいは大車輪のように360度回らないとまずいかもしれませんし、嵐が来たらどうなるかということです。現地の怖さは、異常に大きな波も来る、波がないときは全く機能しないということで、なかなか自然力利用というのは難しいのです。しかし、この波で1分間に13リットル、今は少し改良して、この小さい板一つで1分間に20リットル近い空気が出ますので、これを高圧にしてマイクロバブルにしようかと、それが一つ。もう一つは、発電して、電気分解して酸素と水素に分けて水素を取ろうかと思ったり、そんなことへ持っていきこうかと思っています。

これは美川に入れた、大きな人工リーフのブロックケーンを沈めています。朝6時ぐらいから沈めだしたのですが、近所の人がみんな何事かと思って見に来られました。

最後になりますが、これは先ほどの海底埋没林の映像です。これは「びーびーみつばち」の映像で、決して私の映像ではありません。海底埋没林が白山沖・松任沖でも見つかったということです。金沢にもあるのです。私はこれ以上見ていませんので、この後どうなったかというのは分かりません。

それから、これは能登外浦の辺の景勝地です。

これが松本清張の作品で出てきた曾々木海岸です。

これが雨晴海岸で、弁慶と義経が雨が晴れるまで雨宿りしたというところなんです。これはきれいですね。空があり、雪山があり、海があつて、島があつて、砂浜があります。今、

この砂浜はもうなくなってきましたね。こういうきれいなところがあります。

これは12～13年前、重油事故が起こったときに頑張ったのですが、油回収機を私が改良したのです。これは白山という船で、新潟港にあります。油が出たときだけ油回収船に変わるのです。日ごろは浚渫船として海の底を掘っています。

名古屋にあった清龍丸も造り直して、ヘリポートを持っています。海翔丸は門司にあります。油回収機、これは実は大きいのです。フランスから買ったものですが、実は役に立たないのです。白山の私が改良したものだけしか使い物になりません。波があると全然取れないのです。それを私が造ってあげたのですが、そうしたら運輸省は、沽券にかかわるから私の名前はとにかく外したい、その代わりお金はあげると言ったのです。「幾らでもあげます」と言ったので、あのとき1億円ぐらい言っておけばよかったのですが、私は「ちょっとだけ出してください。そのお金で携帯用の油回収機を造ってあげましょう」と言っていて、これは実は40万円をもらって造ったのです。これは10万円ぐらいで作れるのですが、数万円で、雨どいでいいのですが、高压ジェットポンプが高いのです。数十万円します。これで油を吸い込んで吹き飛ばすのです。というのは、取った油は水と一緒にエマルジョン化してしまっていて、もう動かないのです。タンカーにもう1回積み直して、造船所のある呉まで持って行って、やっと燃やしたのです。普通の焼却炉で燃えないので、燃やすところがないのです。大変なお金がかかるのです。

それで、このエマルジョン化した油を何とかしようということが、それ以後の私の仕事になったのです。それと、大きな船は浅いところへ入ってこられませんから、みんなが自分で取らなければいけないので柄杓ですくっていたら疲れます。それで、これを造ってあげたのです。造ってあげたというほど大したことはないのですよ。特許の切れているアイデアをパクって造っただけなのです。そうしたら、運輸省には頭の良い人がいて、それを乗せる船が要るからといって予算申請したのです。40万円の費用を私に預けて、それで8億円の船を取るのに成功したということです。これが今、瀬戸内海を走っている「いしづち」です。石鎚山の名前から来ています。これは双胴船、胴が二つあり、クジラのように海上油などを飲み込んで、船の中へ取り上げるというものです。

最後の話ですが、エマルジョン化とは何か。一般に水と油は混ざらないと思われていますが、実はよく混ざるのです。重油と水を1対3で、攪拌機でゆっくり混ぜると、エマルジョン化して、ひっくり返しても出ません。かちかちになるのです。水を抱き込んで、周りが油、中が水になっているのです。

これに、ある液体をわずかに入れます。今、特許申請して、取りましたから、これはもう秘密ではないのです。わずかに2種類入れてかき回すと、水と油にもう1回再分離してくれるのです。完全には分離しないのですが、軟らかくなっているのを吸い込めるのです。真空ポンプでも吸えます。水は捨てられます。本当は少し油が混じっていますからそのまま捨ててはいけませんが、油は燃えます。ですから、再利用できるのです。

何を入れたかという、ポリエチレン・グリコール・モノラウレートと5%添加します。さらにソルビタン・モノラウレートを0.5%添加します。それで、ゆっくり混ぜて、30分で軟らかくなり、そして水が抜けます。これを速く回せば、もっと速く抜けます。こうやるとエマルジョン化した油を処理するのは簡単になるということで、これも特許なのですが、全く誰も相手にしてくれません。特許というものは取ればもうかると思っている人がいますが、売れないと維持費がかかります。ですから、私も取った特許を捨てていつているのです。

私は本当は「人類の滅亡を防ぎたい」、これが私の希望です。以上で今日の講演は終わらせていただきます。