

水平勾配が強くなるところでは風が強くなっていることが確認できます。つまり、この結果は、主な波のパワーの増加要因というのは、風の増加ではなくて海水の減少であることを意味しています（図 2.29）。ここまで配布した資料の説

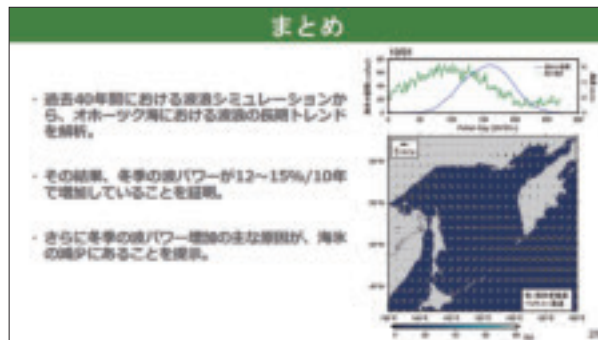


図 2.29

明を終わります。今までは主に過去の計算結果に基づいて研究してきましたが、今後は、将来予測に目を向けながら沿岸の防災対策に貢献していきたいと思っています。それから、オホーツク海の波浪観測が非常に少ないということで、当該海域における観測データをもっと充実化させるべく、実際に波浪観測ブイを、去年の冬から漂流し始めたというところです。海水域での波浪プロセスや長期的な取り組みによる気候変動の影響など新たな知見が得られることを期待しています。以上で発表を終わりたいと思います。ご清聴ありがとうございました。

## 地球規模の気候振動と北海道周辺海域の波浪の関係 ～苫小牧港を事例として～



(一社)寒地港湾空港技術研究  
センター 審議役  
平澤 充成

今、御紹介いただきました、寒地センターの平澤でございます。

今日はこのような話題でお話をさせていただきたいと思いますので、よろしくお願いいたします。

先ほど岩崎さんから、地球温暖化の関連で御発表がありました。私のほうのこれからの発表も100%別ではありませんが、基本的には地球温暖化の気候変動の話ではなくて、地球がもともと持っている気候の振動みたいなものを内部変動と呼んでおりますが、そちらのほうを対象にした話題になっています。

気候振動というのは私が名付けた名前ですけども、一体どういうものかというところをま

ず御説明させていただきたいと思います。たまたま先日11月18日に北海道新聞にこんな記事が載ってまして、今年雪が多いかもということで、特にその影響がこのラニーニャの影響ではないかということが書かれておりました。御存知の方も多いと思いますけれども、ラニーニャ、あるいはその反対のエルニーニョというのがあって、ペルー沖の海域で水温の年平均よりも低い温度が発達した時に、ラニーニャというような言い方をしまして、逆の暖かい時にはエルニーニョというようなことでございます。

ここでお示ししたかったのは、これは海水温ではあるのですが、こういうように地球規模で海水を見たときに、暖かくなったり冷たくなったりと、こういうような振動が起きてまして、これが気候のほうにも影響を及ぼしているということになります。

もう一つ、テレコネクションという言葉もありますが、簡単に言うと、どこかで、まさにラ

ニーニャの雪の影響もその一環だと思いますが、遠く離れたペルー沖で起きた現象が北海道の大雪を及ぼすような、遠く離れたところで繋がっているというような気象現象を示します。このような気候の振動がテレコネクションと言われるようなつながりを持って影響しあっていることを一つ御説明させていただきました(図 3.1.1)。

今回、私の講演の中で対象にする気候振動でございしますが、主にこの三つを対象にしております。

一つは、太平洋の中でアメリカ側と日本側がありますが、アメリカとアジアとの間の海水面の水温の振動で、例えばこの図で行きますと、北アメリカ側の海水の温度が高くて、アジア側が低いときが、この太平洋十年規模振動、これを PDO と言っていますが、PDO がプラスとなり、これが逆になったときがマイナスになる指標になっております。

もう一つが、北太平洋ジャイア振動というのがありまして、これもちょっと PDO と似たようなところがあって、こちら（北太平洋の北東から南西）の方向でプラスとマイナスで振動するというような指標になっています。

もう一つは、これまでの二つが海面の水温を対象にした指標でございましたけれども、こちらのほうは気圧を対象にしており、北極の気圧と日本があるぐらいの中緯度の気圧の高低が入

れ替わると言いますか、例えばここでプラスの時には北極側が低気圧で、日本の辺りが高気圧というようなパターンのときは、北極振動の AO 指標というのがプラスとなり、その逆がマイナスとして表される指標になっています(図 3.1.2)。

先ほどのように今日の御説明では、地球規模の気候振動の指標としてこの三つが主に出てまいります。またここから相関の話がたくさん出てくるので、簡単に復習したいと思います。グラフがありますけども、横軸が大きくなるにつれて縦軸の方がプラスになって、御承知のとおり、こういったような相関があるときには正の相関、その逆が負の相関ということになります。全くないときは無相関という形です。

あとは相関係数という言葉が出てきますけれども、このように直線に乗ったようなときは相関係数が 1 に近くなって、相関のないときは 0 になるということです。特に注目するのは 0.4 以上のときで、かなり相関があったり強かったりするという評価になり、注目に値してくる相関になると思います。

あとは有意な相関とかというのも出てきますけれども、これは詳しくはお話ししませんが、要するに全体の確率が 100% あったとしたら、この辺り（確率分布の両端）の 5% とか 10% とか、そのぐらいの確率でしか起こらないというものが出てきたときに、なかなか出て来ないよ



図 3.1.1



図 3.1.2

うな確率で現象が起きているということで、有意な相関があるというような言い方をしております。何となくイメージとしていただければと思います。

ちょっと前置き長くなりましたけれども、私の研究と言いますか、今回発表させていただくのは、以前、苫小牧港管理組合にいたときに、西港フェリーターミナルのフェリーの船体動揺っていう問題があって、港内が擾乱したときにこういう形でフェリーを横からタグボートで押し付けて、揺れないようにして荷物を積んだトラックを乗り降りさせていたというようなことがございました(図3.1.3)。その年間タグボート使用回数をグラフにまとめてみて不思議に思ったのが、本当に多いときと全くないときがあって、それが結構こんな大きい振動しているということです。何でこのように振動するのかという素朴な疑問が、検討を始めるきっかけ

になったわけでございます(図3.1.4)。

今日は、今お話ししたフェリーターミナル動揺と気候振動についてと、もう少し一般化して苫小牧港周辺への波浪指標と気候振動関係についてお話をさせていただきたいと思います(図3.1.5)。

まずはフェリーの関係でございます。赤線が先ほどご説明したタグボートの年間利用回数を示していますが、先ほど説明したPDO指数、太平洋の10年規模の振動というものを青い棒グラフで示していますが、これを当てはめると結構一致するというのを見つけました。その相関係数は0.62で、かなり相関があるということで、統計上でも有意なデータになっているということが分かりました(図3.1.6)。

そういうことが分かりましたが、太平洋の水面温度の振動が直接船を揺らしているわけではなく、当然のことながら波が揺らしているとい



図 3.1.3

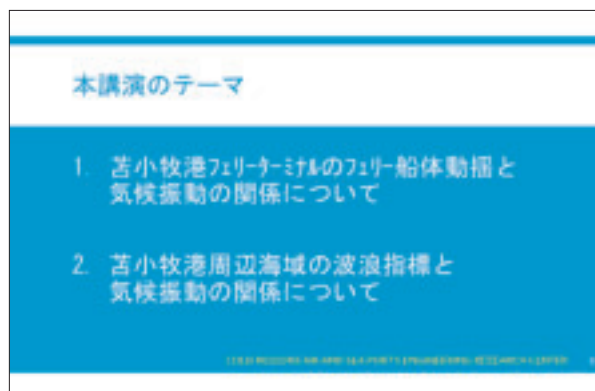


図 3.1.5

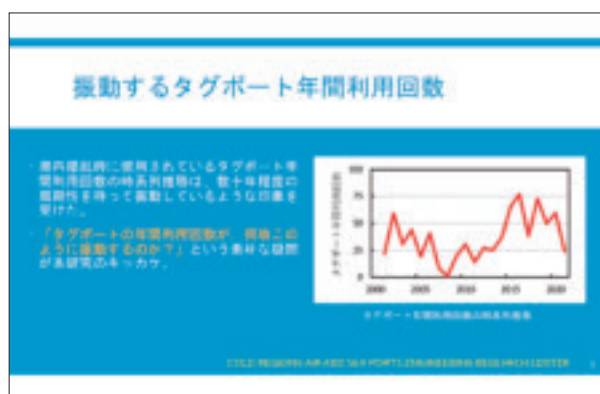


図 3.1.4

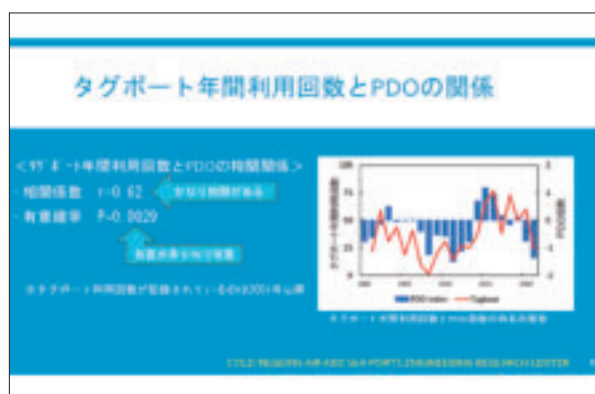


図 3.1.6



うことで、波との関係を整理してみようと思いました。2020年にフェリーの動揺の発生基準をつくった研究成果がありましたので、苫小牧のNOWPHASデータからこのフェリーを揺らす基準を上回るデータを抽出して、それを全体数で割って年間の擾乱の発生率というのを求めました（図3.1.7）。

このグラフは、横が今の擾乱の発生率でなっていて、縦がPDO指数とタグボートの利用回数になっております。ただ全体のイメージを掴むためには、別のこちらのグラフを見ていただいたほうがいいと思います。こちらのグラフは2000年以降の年次時系列になっています。棒グラフのPDO指数とタグボートの赤線は先ほど見ていただいたとおりよく合っていますが、黒線で示しております港内の擾乱発生率も同じようによく合っているような感じになっています。これをそれぞれ抽出して、またプロットとしたのがこちらのグラフで意味は同じです。

タグボートのほうを見ますと、この年間の擾乱の発生率との相関係数も高く5%で有意になりました。PDO指数とこの擾乱発生率の関係も相関係数が0.4以上で、有意水準は5%になりませんでしたけども、7%ぐらいで、有意水準10%ぐらいで有意だという結果になりました（図3.1.8）。

今話をまとめると、もともとPDO指数とタグボートの年間の利用回数に相関があったの

ですけれども、その間に波をかませても、それぞれ相関があり、結果的に波が媒介となって、タグボートの利用回数とPDO指数の相関を結びつけていたことが分かりました（図3.1.9）。

次に二つ目の話題の、苫小牧港周辺の波浪と気候振動の関係についてです。こちらのほうは、先ほど岩崎さんが使われていましたが、波パワーという指標に注目して分析を進めています。波パワーというのはこの式にあるように、今回の場合ですと有義波高の二乗に有義波周期を掛けて2で割ったものを波パワーとして整理しております（図3.1.10）。

それを1980年から2019年までのデータでいろいろ整理をしています。これからお見せする資料の中では、その中間年辺りの1999年と2000年を境界として分析をしています。これがその結果になっておりますけれども、波パワーと合わせて年平均有義波高ですとか、年最

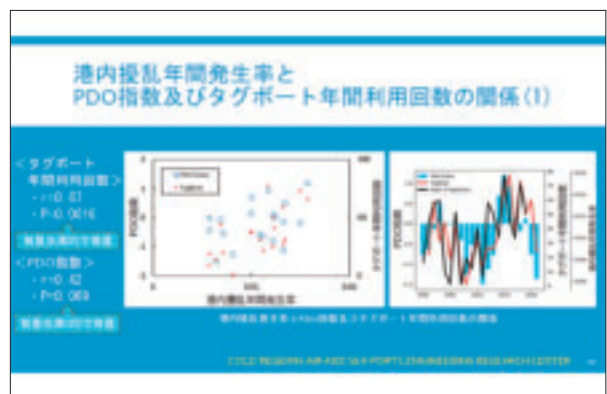


図3.1.8

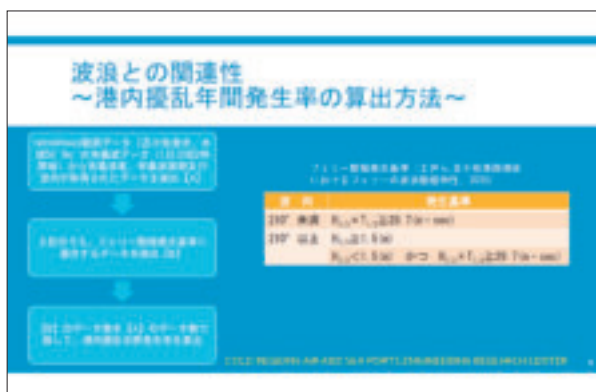


図3.1.7

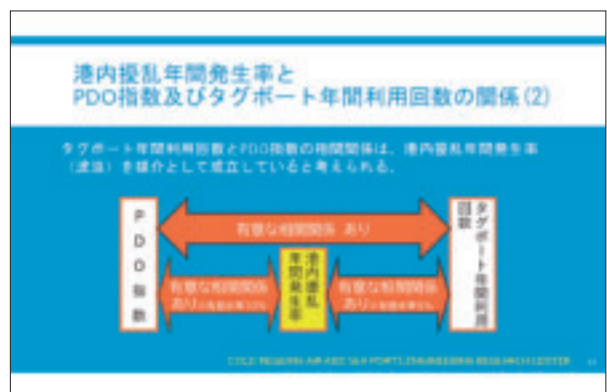


図3.1.9

大有義波高についても分析してみました(図 3.1.11)。結果的には、それらの周期はこちらの指数と結構相関があったのですが、波高のほうはあまり相関がなく、波高と周期も両方合うものが出てきませんでした。先ほどの波パワーだけが、この 1999 年まで、あるいは 2000 年以降両方とも高い相関係数が出てきて、なおかつ有意なデータが得られたという結果になっております。

このグラフですが、2000 年の手前までは AO 指数をピンク色の棒グラフで書いていて、2000 年以降は PDO 指数を青色で示して、折れ線グラフは年最大の波パワーを示しています。赤い丸が年最大の波パワーが台風によって起きた場合で、黒が通常の低気圧で起きた場合です。今回は台風に注目したいと思っておりますけれども、この 2000 年までの前半と後半で比べると波パワーが 100 kW/m の線で見ると、



図 3.1.10



図 3.1.11

後半のほうが前半よりも台風による 100 kW/m を超える回数が 2 倍に増えているというのが一つの特徴になっています(図 3.1.12)。

ここからちょっとお手元に図はございませんけれども、少し最新の情報をお伝えします。今のように 2000 年くらいで状況が変わっているということで、少し別の解析をしました。これは横軸が 1970 年から 2000 年まで書いてまして、縦軸が年最大パワーと気候振動指標の相関係数の時系列変化を示しています。ここで分かったのが、先ほど 1999 年と 2000 年分けていましたけれども、2001 年から 2002 年の間で AO 指数から PDO 指数に波との相関が切り替わっているということが分かって、大きな波に対する気候振動の影響がこういうふうに入れ替わってきているというのが分かってきました。

実はこれ、ここだけでなく過去にも 1970 年代にも起きているということが分かってきております。ただ、我々は興味があるのは、それに入れ替わったというだけではなくて、このように入れ替わったことで実際何がどのように変わってきたのかということを知りたいということです。その問いに対する答えの一つが台風による影響の変化にあることが少しずつ分かってきているところでございます。

それを表しているものの一つは、先ほども少し御紹介しましたけれども、大きな波パワーの発生回数の増加ということになります。この図

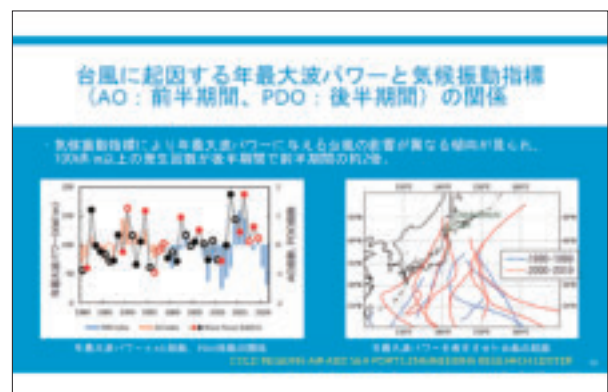


図 3.1.12

は、赤が1980年から2001年までの先ほどの年最大波パワーを起こした台風の経路を示していき、実線が台風、点線になってきたら温帯低気圧に変わった後の経路になっています。これを見ると、ちょうどこの緯度辺りで、前半の2001年まではこのぐらいのところまでが台風で、それ以降が温帯低気圧に変わっていたのですけれども、それ以降は、それより北側まで台風のまま発達してきているということが分かってきました。こういうことが先ほど2000年以降に100 kW/m以上の波パワーを発生させる回数、台風の数が増えてきたということの一つの現れではないかなというふうに思っております。

もう一つが、その年最大波パワーを発生させた時の台風、あるいは温帯低気圧の位置というのが変わってきているということがあります。前半の2000年より前の時には、例えばこのオホーツク海と日本海のところを見ていただくと一番分かりやすいのですけれども、2000年以前はこの辺りでバツがついて、オホーツク海側に台風が来た時に、苫小牧港の波で年最大波パワーが出てきたのが、2002年以降になると日本海側に移っているという大きな変化が出てきています。

こういうことがあるので、波高や周期の変化もありますが、恐らく波向きもこういうような形で2000年2001年、2002年を境界に変わってきている可能性があるのかなというふうに考えているところでございます。

これで大体説明を終わりますが、最後に、これも一つ大事なことで御説明をしたいと思っております。

今後の研究の方向性と書いていますが、苫小牧以外の北海道内のいろいろな観測地点を対象に分析していこうと思っておりますし、あとは特に太平洋とかオホーツク海とか、海域ごとの特徴というのをまとめていきたいと思っております。

ます。

あとは、先ほど台風のお話させていただきましたけれども、低気圧等の関係を分析するというのと、あとは実際どういう原因でそういうのが起きているかというのは、もう少し海面水温とか気圧分布の関連性を分析していく必要があるかなというふうに思っております。

また、このような研究を何に生かしていくかというのが一番大事だと思っており、この成果を港湾や漁港整備、あるいは港湾の管理運営等に活用できる活用方策についても検討を進めていきたいと思っております。

また先ほど苫小牧の例でもございましたように、いわゆる港内の静穏度とか、あるいは波向きが変わってくると漂砂等の現象にも大きく影響が出てくる可能性がありますので、そういったものの分析にも利用できるようにしていきたいなというふうに思っております。

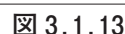
また、先ほど見ていただきましたように、気候変動指数と波の大きさの間にかなり相関がありますので、逆に言いますと気候変動指数の将来予測ができてくると、将来的な波がどのくらい大きくなるかという予測もできてくるということになるかと思えます。そのような気候変動指標の将来予測に関する研究は進められておりますが、もう少し簡単な方法で短期的な将来予測、例えば来年の気候変動指標がこのくらいになりそうかというような予測ができると、来年は波が荒れそうかとか、いつもより良さそうかとか、そういうことが分かってくるのではないかなと思ひ、例えば、荷役の稼働率がどうなりそうかとか、あるいは海上工事でいきましたら、休止率は来年ちょっと良さそうかとか、少し休止率厳しそうかとか、状況にあわせた準備にも生かせるのではないかなというふうに考えています。

あるいは静穏度もそうなのですが、設計波の検証というのを使っていけないかなとい



ですから、例えば静穏度でいきましたら、この辺りの5年のデータを使って算出した静穏度と、この辺りの5年を使った静穏度というのは結構変わってくる可能性があると思うのです。今回得られて知見を活かして、そういう目で静穏度ですとか、あるいは設計波とかを見ていったときに、最近ちょっと静穏度が良くないんだよねとか、そういうような疑問に答えられるようにもなってくるのではないかと思います。

大体、時間が来たと思いますので、以上で御説明を終わりたいと思います。どうもありがとうございます。



(一社)寒地港湾空港技術研究  
センター 第1調査研究部  
次長  
山内 功

图 3.2.1