

ホタテガイ貝柱歩留状況予報システムの開発 —統計的確率モデルの予測への応用—

栞原 康裕・多田 匡秀

キーワード：ホタテガイ、貝柱歩留不良予報、統計的確率モデル、成長モニタリング

はじめに

オホーツク海における地まき式ホタテガイ漁業（種苗を放流し、約3年後に桁網により採捕する方式）は、その生産技術を向上させ、1999年以降、30万トン規模の生産を維持しています。現在の生産は安定していますが、これまで貝の小型化、貝柱（閉殻筋）の成長不良等の問題も何度かありました。これは、海の生産性は年によっては極めて低いことがあり、ホタテガイ漁業は海の生産力を最大限に生かした増殖漁業ですので、このような年には一時的に餌不足になっていたのかもしれない。

網走水試では、この大きな漁業を幾らかでも支えられるように、ホタテガイについての調査研究を行っています。具体例が、毎年、貝の成長状態の把握と、水温や餌料条件を主とする海洋環境などをモニタリングし、ホタテガイの成長に関するデータを蓄積することです。そして、長年にわたって得られたデータを解析することによって、はじめて海洋環境との関係が（統計学的に）明らかになります。

これまで、オホーツク南部海域の主漁場で得た15年以上のモニタリング調査データをもとに、貝の成長と海洋環境との関係を解析した結果、ホタテガイ貝柱の成長は、春季の餌濃度の影響を強くうけることが分かりました（品田ら2005, 品田2006）。また、貝の値段の決定には、貝柱の歩留は重要な要素のため、その年の貝柱の歩留の良し悪しについて予測できないかという浜の要望があ

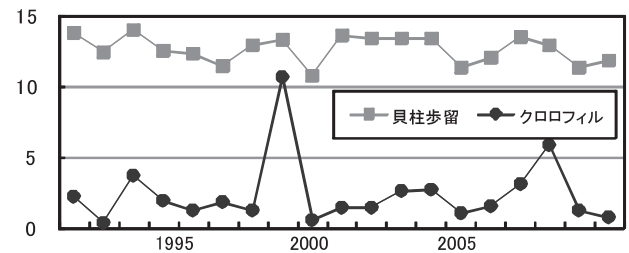


図1 春先の調査データの一例：オホーツク海南部海域のホタテガイ貝柱歩留（6月～8月）（%）と春季（4月、5月）のクロロフィル測定値（ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ）の年変化

りました。それを受け、いくつかの環境因子から、春季の底層水温と餌濃度のデータを用いて貝柱歩留が不良となる確率を推定するモデルを作成しました。しかし、その後、この方法では2009年の成長不良をうまく説明できなかったため、予測方法の向上または新たな方法の開発が必要になりました。

そこで、春先の調査データ（図1）を活用して、貝柱の歩留不良の予測をするという目的は同じですが、これまでとは異なる視点で、新たな統計的確率モデルを用いた短期および長期のホタテガイ貝柱歩留不良予測手法を検討しました。

貝柱歩留不良予報を出すための方法

ホタテガイの貝柱歩留予報の仕組みは、「カエルが鳴くと雨が降る」というような、生物や自然現象の観察から天候を予測する観天望気によく似ています。異なる点は、観察が観測値に、結果が貝柱歩留不良予報に変わるところです。実際のところ、「カエルが鳴くと雨が降る」というのは100

%当たるわけではありません。当然、「カエルが鳴いても雨が降らない」場合もあるわけで、これをどうやって数理的に表すかが問題となります。

そこで、こんなときに役立つ便利な道具があります。それが統計的確率モデルです。ここでは「カエルが鳴くと雨が降る」という観天望気について考えてみましょう。

統計的確率モデルは何が標本空間かを決めることから始まります。例えば「カエルが鳴く」と「カエルが鳴かない」、「雨が降る」と「雨が降らない」といった出来事について、それぞれの回数を試行と呼び、これらの試行の集まりが標本空間となります。さらに「カエルが鳴く」、「雨が降る」といった出来事を事象と呼びます。

ある100日間でカエルが鳴いた日が40日、同じ100日間で雨が降った日が60日ありました。元になる試行結果を表1にまとめました。この表は分割表と呼ばれ、この表を使って実際に確率を計算してみましょう。

表1から「カエルが鳴く」試行回数は100日中40日（表1-E）あり、確率は $40 \div 100 = 0.4$ 、「雨が降る」試行回数は100日中60日（表1-G）なので、確率は $60 \div 100 = 0.6$ となります。この二つは周辺確率と呼ばれます。

ここでカエルが鳴いた時に実際に雨が降ったのは30日（表1-A）ありました。このように「カエルが鳴く」事象と、「雨が降る」事象が同時に起こる場合の確率は同時確率と呼ばれ、 $30 \div 100$ （表1-I） $= 0.3$ となります。

さて、「カエルが鳴くと雨が降る」という観天望気は、「カエルが鳴く」事象が起こった後に、「雨が降る」事象が起こる場合の条件付確率となります。定義より、条件付確率 = 同時確率 ÷ 周辺確率という関係があります。ここで、「カエルが鳴く」事象と、「雨が降る」事象の同時確率は0.3、「カ

エルが鳴く」事象の周辺確率は0.4なので、「カエルが鳴くと雨が降る」場合の条件付確率は $0.3 \div 0.4 = 0.75$ となります。

さて分割表から今の結果を検算してみましょう。「カエルが鳴くと雨が降る」という観天望気は、「カエルが鳴く」事象が起こった後に、「雨が降る」事象が起こる場合の確率となり、カエルが鳴いた40日中（表1-E）、雨が降ったのが30日（表1-A）なので、 $30 \div 40 = 0.75$ と計算され、条件付確率の計算結果と一致します。

この結果、「カエルが鳴くと雨が降る」という観天望気は4回中3回当たる統計的確率モデルに変身することとなります。

このやり方でホタテガイ漁場の海洋環境やホタテガイの測定値から、より複雑な操作で条件付確率を計算し、貝柱歩留不良警報の仕組みを作り上げました。

もう一つ別の方法として事後確率と呼ばれる確率も予報に利用しています。異なる2つの方法で確率を求めることで、現象の起こる確からしさには幅のあることを示すことができます。

これはやや理解が難しいため、知識として「ベイズの定理を使った方法」として認識していただければ十分だと思います。

表1. カエルの鳴き声と降水に関する分割表

事象	雨が降る	雨が降らない	合計
カエルが鳴く	30 (A)	10 (B)	40 (E)
カエルが鳴かない	30 (C)	30 (D)	60 (F)
合計	60 (G)	40 (H)	100 (I)

実際の子報の仕組み

ホタテガイ貝柱歩留不良予報の仕組みは作業内容により、観測層、データベース層、予測モデル構築層、予報層の4層に分けられます(図2)。

観測層の内容は、紋別・常呂海域でのホタテガイ成長モニタリング調査を中心とした観測業務を含みます。

データベース層は観測層によって得られた観測値を集計し、いつでも使えるデータベースを維持する作業層です。紋別海域は1992年から2010年、常呂海域では1991年から2010年の延べ39年間の観測値の蓄積があります。

予測モデル構築層は警報の基礎となる統計的確率モデルの計算作業を行う層です。

ホタテガイの貝柱歩留は貝柱重量÷ホタテガイ重量×100で、パーセント(%)で表します。歩留不良を予測するには基準が必要なので、平均貝柱歩留12%未満を歩留不良と決めました。

現在までに得られた観測値から未来の出来事を予測するため、4、5月の4つの観測値～最大貝柱歩留・最大貝柱グリコーゲン濃度・最大クロロフィル濃度・最大海水温差(最高水温-最低水温)～を用いて、6、7月の短期と、6～10月の長期の貝柱歩留不良確率予報の仕組みを作りました。

過去観測値はデータベース層から抽出します。それぞれの観測値の集合は、標本空間とみなされますが、そのままでは確率を計算できる事象となりません。そこで区切りとなる値を閾値として決めておきます。

観測値ごとの閾値は、最大貝柱歩留は10%、最大貝柱グリコーゲン濃度は1.5%、最大クロロフィル濃度は $3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 、最大海水温差は3℃です。この値自体は予測がうまくいきそうな値を経験的に決めました。この閾値を境に、4、5月のモニタリング結果を判断します。図3左のように

歩留不良になりやすい場合を「1」、なりにくい場合を「0」に区分します。図3中のように得点によって条件付確率と事後確率が変化するので、5段階のレベルで予報を出すことが可能となりました。

予報層は新規の4、5月の観測値を利用して予報を発表する作業層です。注意点としては、予測モデル構築層での解析結果から、6、7月の短期予報と比較して6～10月の長期予報の予測精度が低いことです。

予測モデルで採用した統計的確率モデルの利点は、歩留不良を過去のデータに基づいた確率を介在して、客観的な判断ができることです。もう一つの利点は、毎年モニタリングによって蓄積される測定値を使って、モデルを更新・改良することが容易な点です。ホタテガイ貝柱歩留不良予報は平成23年度から試験的にホームページ上で公開しています。

(http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/abashiri/resources/resources_managemen.html)。

網走水産試験場ではこれからもホタテガイ漁場のモニタリング調査の中で、早期の歩留不良予測を行い、より精度の高い予測モデルへの改善を継続する予定です。

(くわはら やすひろ・ただ まさひで

網走水試調査研究部 報文番号 B2343)

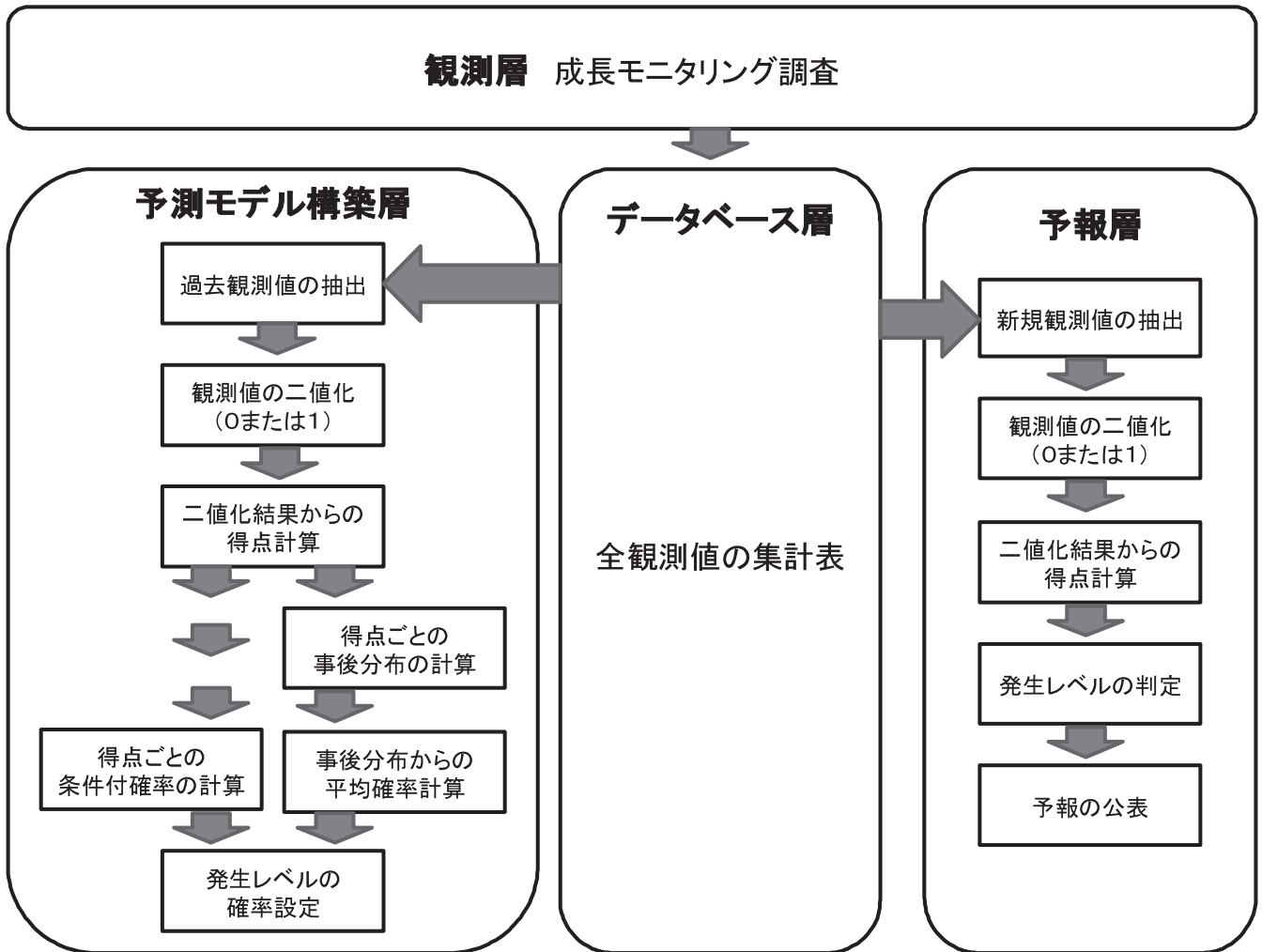


図2 ホタテガイ貝柱歩留不良予報の仕組み

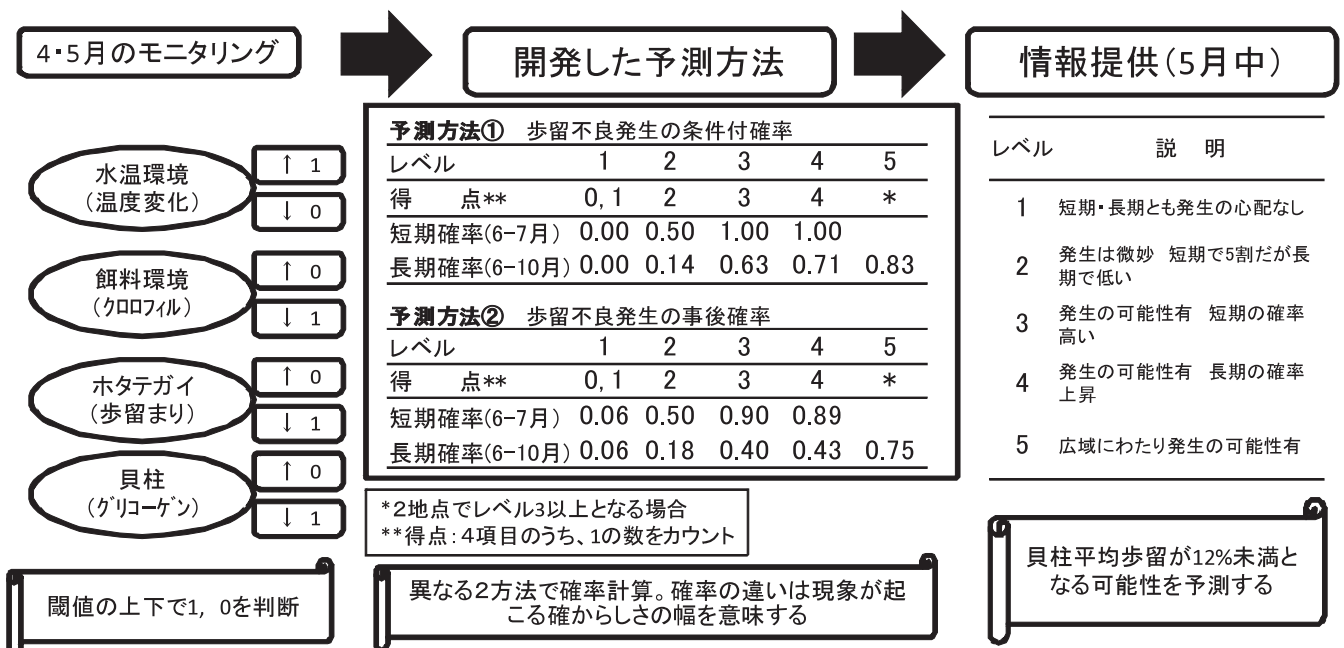


図3 ホタテガイ貝柱歩留不良予報の流れ