漁船と漁具の運動*1

天下井 清*2

北海道大学大学院水産科学研究科

船体運動と漁具との力学的関係

底曳網漁船における曳網中の船体と漁網は船尾に取り付けられたトップローラを船体の着力点としてワープによって連結されている。底曳網漁船と漁具という個別の要素が曳網によって組み合わされて動作していることから、船体運動系と漁具系という二つの系の組み合わせられた応答系を考える。風によって起こされる波が船体運動系への入力となり、船体運動を入力とする漁具形の出力がワープ張力変動であると考え、これらをダイナミック曳網システムと定義する。

曳網中の船体運動と漁具の応答特性

波浪中の船体縦揺れ、上下揺れの応答は曳網することによって大きくなり、特に $\sqrt{\text{船長}/\text{波長}} \approx 0.8 \sim 0.9$ で最大となる。このことは曳網システムの出力としてのワープ張力変動が船体運動系へ、正のフィードバックしていることを示している。曳網中のワープ張力の変動は、ワープの初期張力が大きい程、波高が高い程増幅され、初期張力の3倍にも達する。¹⁾

曳網システムの統計的性質

図1に示したマルチプルコヒーレンシをみると船体運動のパワーの著しい周波数範囲0.12 Hから0.3 Hにおいて、その値は0.95以上になっている。従って、この周波数範囲でワープ張力変動は殆ど船体運動に起因していると考えられる。パワー寄与率をみると上下揺れは0.05~0.4 Hの広い範囲で大きな値を示し、ことに0.22 Hで45%を示している。船首揺れと左右揺れではそれぞれ0.19 Hおよび0.22 Hにおいて30%の寄与率である。横揺れは0.11 Hで約20%を示している。以上の特徴からこのシステムの構成要素を知ることができる。

曳網システムのモデル化

(1) 多次元自己回帰 (AR) モデル

システムの保全を可能とするためにはそのモデル化が必要となる。モデルの選択は対象事象の特徴に由来する。曳網システムとして図2に示すフィードバック系として考えるのが適当である。Aは漁具系の特性、Bは船体運動系の特性を表し、A、Bはともに線形で、時

間に対しては不変とする。このシステムにおいて、船速の変動、オッターボードの挙動等の影響として、ノイズ $u(s)$ 、海洋波浪等の外力による影響として、ノイズ $v_i(s)$ で表すと、 $T(s)$ 、 $M_i(s)$ はA、Bの出力に、ノイズ $u(s)$ 、 $v_i(s)$ が加わったものと考えることができる。但し $\{u(s)\}$ 、 $\{v_i(s)\}$ は統計的には互いに独立であるとする。図に示される曳網システムを多次元自己回帰モデルとして、 N_j を十分大きくすることによって近似的に

$$T(s) = \sum_{j=1}^6 \sum_{m=1}^{N_j} a_j(m) M_j(s-m) + u(s) \quad (6.15)$$

$$M_i(s) = \sum_{j=1}^6 \sum_{m=1}^{N_j} b_{ij}(m) M_j(s-m) + \sum_{m=1}^{N_j} b_i(m) T(s-m) + v_i(s)$$

$$i=1, 2, \dots, 6 \text{ 但し } j \neq i, b_{ii}(m)=0 \quad (6.16)$$

のように表現することができる。 $M_1(s)$ 、 $M_2(s) \dots$ 、 $M_6(s)$ は船体の6自由度運動で、各々前後揺、左右揺、上下揺、横揺、縦揺および船首揺を示す。(6.15)(6.16)式における $\{a_j(m)\}$ 、 $\{b_{ij}(m)\}$ 、 $\{b_i(m)\}$ は最大情報量AIC法によって推定できる。曳網システムにおける船体運動およびワープ張力変動の多次元自己回帰モデルのモデル次数は5~7次であり、ワープ張力変動の予測に十分な効果がある。²⁾

(2) ニューラルネットワークモデル

使用した階層型ニューラルネットワークモデルを図3に示す。 X_i は入力層における入力で曳網システムでは6自由度の船体運動であり、 M_{input} は入力層の数で、この場合6である。入力 X_1 、 X_2 はニューロン I_1 、 I_2 から中間層 J_1 ニューロンへ、さらには出力層 K_1 ニューロンへ伝達する過程で重み付けされて出力される。ワープ張力は出力層の出力 Y であり以下のように表せる。

$$Y = \sum_{j=1}^{M_{hidden}} w_{jk} f \left(\sum_{i=1}^{M_{input}} w_{ij} X_i \right)$$

ニューロンの動作関数 $f(x)$ は微分可能な代数的関数で代用されているが、現在最もよく用いられる関数はシグモイド関数である。

*1 Behavior of Fishing Vessel and Fishing Gear.

*2 Kiyoshi Amagai (Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan).

図1 船体運動のワープ張力に対するマルチコヒーレンシ、パワー寄与率およびパワースペクトル

$$f(x) = 1/[1 + \exp(-\alpha x)], \quad \alpha > 0$$

ニューラルネットワークモデルを用いた予測法と自己回帰モデルを用いた予測法との間の予測精度を比較した結果では、曳網システムにおける場合には比較的線形性が強いために大きな差がでなかったが、海況が荒れたり、小型漁船による刺網漁業や、養殖施設に船体を係留して操業するホタテ養殖漁船など非線形性の強い運動を

Feedback system while towing a trawl net.
 $M_i(s)$: ship's motions, $T(s)$: warp tension,
 $u(s)$, $v_i(s)$: noise

図2 曳網システム

図3 階層型ニューラルネットワークモデル

対象に解析する場合や長期変動の予測を行うに当たっては有効性が確認されている。

まとめ

ここに取り上げたダイナミック曳網システムは漁業における一事象に過ぎないが、応答系の構成要素の決定、モデルの決定過程等で述べた現象に対して因果関係を明らかにするアプローチと解法は普遍的なものとして応用できる。今後、多方面の分野で利用されることによって漁業における複雑な事象の解明に寄与されることを期待する次第である。

文献

- 1) 天下井清, 川島利兵衛: 曳網中の船体運動とワープ張力の応答特性について. 日水誌, 51, 167-174 (1985).
- 2) 天下井清, 川島利兵衛: 船尾トロール漁船におけるワープ張力の予測について. 日水誌, 50, 1487-1494 (1984).