遠洋水研報 第13号 昭和50年11月
Bull. Far Seas Fish. Res. Lab., No.13 November, 1975

"漁海況論" の情報理論による検討

I マグロの分布と海況についての検討例*

山 中 一 郎
(遠洋水産研究所)

Discussion on "Oceanographic conditions in relation with fishing conditions" by applying the Information Theory

I Example of exercise on the distribution of tunas in relation with oceanographic conditions

Ichiro YAMANAKA
(Far Seas Fisheries Research Laboratory)

In the information theory, information can be evaluated by a measure "Entropy" which manifests the vagueness or uncertainty of a set of events of which occurrence is anticipated, namely ;

$$H=-\sum p_i \log_2 p_i,\ (\sum p_i=1)$$

here, p_i is the probability of the occurrence of the i-th event in the set.

The atlas "The Average Year's Fishing Conditions of Tuna Longline Fisheries" (eddited by Nankai Regional Fisheries Research Laboratory) was taken up as the material of exercise. Table 1 shows the value of abundance indices of the yellowfin tuna in April by one degree in latitude of the western Pacific Ocean. The values of entropy of the meridional distribution of abundance indices measured by one degree in latitude were calculated for several cases with different level of knowledge which had already been acquired (Table 2), and also was shown the gain of information attained by scrutinizing the atlas.

The decrement of entropy acquired by introducing oceanographic knowledge, such as optimum temperature distribution, thermocline depth, and water type was calculated (Table 3).

It has been pointed out that the year-to-year variation of the oceanographic conditions such as the temperature pattern has to do with the meridional distribution of fishing ground of tunas. Such knowledge contributes to the gain of information in two ways ; firstly by lessening the range of the meridional distribution of the abundance indices, and secondly, by providing a better estimation of the center of the distribution than by the average year's condition. The gain of information of these cases were made taking up the abnormal cold year of 1972 and the southward shift of the fishing ground, under an assumption that the abundance indices make a normal pattern along the meridian.

The author does not intend here to make any conclusion about the evaluation of oceanographic information in fishing conditions' study ; but rather does to propose a method of approach

* 1975年10月31日受理 遠洋水産研究所業績 第146号

for the research of this problem, with a basic idea, that is, the information can be evaluated by measuring how it decreases the uncertainty or entropy about the set of events.

1. は じ め に

“漁況と海況”に関する研究は我が国において極めて多いが，その目的としては(1)漁況の予測，(2)資源変動の正しい理解，の2つが主なものであり，この場合海況情報は魚群の分布や資源動態等に対し有用な情報を提供するということを前提として受止められている。

一方，近年，資源研究に関する海洋研究の価値についての論議がおこなわれ“海洋研究は経費がかかり，しかもこの情報は間接的で有効性に乏しい”（FAO，1973，山中，1973，1974B）というような論もある。

ここでは情報理論（Information theory）の手法を用いて，海洋情報の与える数量的価値について考察をおこなうこととする。

2. 考え方の基本

情報理論においては，情報の価値を経済学的な立場によらず，情報量を数量的に取扱い，統計力学で用いられると同様な entropy なる量を導入し，これをある事象系のもつ“不確定さ”の尺度とし，この entropy の減少によって獲得された情報量を計測するものであり，水産研究に用いられた最初の例としては土井（1957）が魚体測定の価値判定に用いたものがある。

天気予報を例にとって考えよう。この適中率が高いほど，この予想は価値が高いということが普通には考えられる。しかし，予想の価値はそのように単純ではない。たとえば，1月の新潟の天気（理科年表1972版）によれば，曇13日，雨4日，雪10日である。この合計27日を“天気が悪い”とすれば，“曇，時々小雨又は小雪”という予報の適中率は高い。しかし，この情報価値は，それほど高くない。何故なら人々は始めから“恐らく曇天，又は雨か雪”ということを知っているからである。すなわちこの場合，明日の天気に対する“あいまいさ”が始めから少ないからである。

情報の価値は，事象に関する“あいまいさ”—entropy— をいかに減少させるかによって量的に判断される。

確率 p_i で生起する K 個の事象 A_{ki} があり，これが完全事象系（相反し，かつどれかが必ず起る）のであれば，この場合の事象系のもつ entropy は

$$H=-\sum_{i=1}^{K} p_i \, log \ p_i \quad \cdots\cdots(1)$$

で示され，この値は

$$p_1=p_2=\cdots\cdots p_k$$

のとき最大で

$$H=-log \ p_i=log\frac{1}{p_i}=log \ K \quad \cdots\cdots(2)$$

で示される。尚，情報理論では対数の底として2を用いて示し，これを bit という。

特に $K=2$ 　$p_1=p_2=0.5$ のとき $H=1\,\mathrm{bit}$ である。

また事象の生起確率が正規分布すなわち

$$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}exp.\left(\frac{x}{2\sigma}\right)$$

のときは

$$H(x)=-\frac{1}{2}\ log_2\ (2\pi e\sigma) \quad \cdots\cdots(3)$$

である（例えば，関，1969等)。この場合 $H(x)$ の値は x の測定単位によってことなって来る。すなわち，測定単位をこまかくするほど，σ の値は大になり，したがって H の値は大になる。このことは精密な器械を用いるほど観測値のバラツキが生じ易いことを考えれば容易に理解できる。

これらの基礎知識の上に，いわゆる"漁海況"についての知識を検討してみよう。まず最も簡単な例をとると，

例：ある漁業について初漁期についての情報が全くない場合，初漁期についての entropy は日を単位とすれば

$$H_0 = log_2 K = log_2 365 = 8.51 \ bit \cdots\cdots (4)$$

である。

ある調査により，初漁期が4月始乃至5月末までの2カ月（60日）であることが知られると，初漁日の entropy は

$$H_1 = log_2 60 = 5.96 \ bit \cdots\cdots (5)$$

となる。したがってこの調査は

$$H_0 - H_1 = 2.65 \ bit$$

の情報を新に与えたことになる。

さらに，より進んだ研究の結果，初漁日がある日を中心とし，σ=15日の正規分布をすることを知ったとすると，

$$H_2 = \frac{1}{2} log_2 (2\pi e\sigma) = \frac{1}{2} log_2 (2\times 3.14\times 2.72\times 15) = 4.00 \ bit$$

で，この研究はさらに

$$H_1 - H_2 = 5.96 - 4.50 = 1.46 \ bit$$

の情報を与えたことになる。

このような初漁期の情報は，長年の統計のみによっても得られる。

宇田，岡本（1936）は水温と日本海大羽イワシ初漁日との関係を求めたが，このように海洋情報が上述の σ の値を σ_1 にまで減ずる。すなわち初漁日の確率分布よりシャープにすることができれば，このとき

$$G = \frac{1}{2} log_2 (2\pi e\sigma_1) - \frac{1}{2} log_2 (2\pi e\sigma) = \frac{1}{2} log_2 \frac{\sigma_1}{\sigma} = log_2 \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma}} \cdots\cdots (6)$$

の情報を新に獲得することとなる。この場合(6)では σ はその比丈が問題となるので，単位には関係しない。

このような考えのもとにまずマグロの分布と海洋構造に関するいくつかの既往資料を検討することとする。

3. マグロ分布と海洋構造に関する検討

マグロの分布と海洋構造については，中村（1954），中村，山中（1959）より NAKAMURA（1970）にいたるまで一連の研究により基本的なひとつの考えがのべられている。この表現をひとくちにいえば，

"マグロは魚種別生態的（索餌期，産卵期）別にそれぞれ定った海流系にすみわける"というのであり，さらに，"この知識は新しい漁場を探索するのに有効であり，北極にライオンを求めたり，熱帯に白熊を求めたりする愚を犯すことはさけられる"とのべていた。

この説が出た当時のはえなわ対象マグロの主漁場は熱帯，亜熱帯で各々の海流はおおむね緯度帯に平行し，マグロはえなわ漁場もおおむね東西に長くのびていた。

この有様を示し，漁業者に対する漁場選択の指針という目的をも含めて，経緯度各1度ごとの魚種別釣獲率

を月別に示した平年漁況図（1952，1958）が作成された。

この平年漁場図によって得られる情報量について1958年版を用いて考察の一例を試みよう。

まず，前提として，マグロ漁場の経度差は少ないものとして一応考慮の外におき，緯度別の分布について考えることとする。

(a) 第1段階として，マグロの分布について全く情報をもたない場合を考える。緯度 1° を計測の単位として取扱うとすれば，この場合，どこに出漁すべきかの判断は，北極から南極まで 180通りあり，このうちのどれかは全く判断ができない。この場合の漁場の位置についての entropy H_1 は

$$H_1 = log_2 180 = 7.45\ bit$$

である。

(b) ある月の平年漁況図を一覧して，例えば，キハダの漁場が赤道の南北 20° の間にあることが知られたとする。この知識を得た後において漁場の位置についての entropy は

$$H_1 = log_2 40 = 5.32\ bit$$

である。したがって，“漁場は南北 20° の間にある”，という情報は

$$H_0 - H_1 = 7.45 - 5.32 = 2.13\ bit$$

の情報を与えた。

(c) さらに漁場図を仔細に検討し，各々の緯度帯で釣獲率に差があることを知ったとする。例へば，4月のキハダについてその釣獲率を 20°N～20°S の各緯度帯において 1°×1° のますの値を西太平洋 130～160°E について加え合せたものを求め，これをその海域における各緯度帯ごとの“豊度指数”とした（第1表）。

第1表 130°E～160°E におけるキハダ（4月）の緯度ごとの豊度量指数（釣獲率を加えたもの）
………は分布の上下各¼を示す。

Table 1. Abundance indices (the sum of hook rates) of the yellowfin tuna in April between 130°E and 160°E. Dotted lines show the upper and lower quartiles of the distribution.

Lat.	a_i	Lat.	a_i	Lat.	a_i	Lat.	a_i
N19～20°	6.6	N 9～10°	12.1	S 0～ 1°	38.1	S10～11°	1.0
18～19	0.9	8～ 9	12.5	1～ 2	21.5	11～12	1.8
17～18	1.0	7～ 8	27.8	2～ 3	32.6	12～13	4.1
16～17	3.2	6～ 7	41.9	3～ 4	24.7	13～14	3.7
15～16	0.2	5～ 6	63.4	4～ 5	19.3	14～15	4.1
14～15	0	4～ 5	65.7	5～ 6	14.3	15～16	3.8
13～14	0.4	3～ 4	65.0	6～ 7	25.6	16～17	—
12～13	3.8	2～ 3	57.7	7～ 8	22.5	17～18	—
11～12	13.1	1～ 2	34.9	8～ 9	13.3	18～19	—
10～11	11.9	0～ 1	38.1	9～10	7.8	19～20	—

ところで，第 i 緯度帯の豊度指数を a_i とすれば

$$p_i = \frac{a_i}{\sum a_i} \qquad \cdots\cdots(7)$$

これは漁獲努力が魚群量に応じて配分されるという仮定をすれば，努力量の配分確率になる。そうすれば，漁場（すなわち，努力量を投下すべき場所）の位置（緯度）についての entropy は

$$H_2=-\sum p_i log\ p_i=4.43\ bit$$

となり H_1 よりも $5.32-4.43=0.89\ bit$ の減少があった。

(d)　しかしながら，この平年漁場図をみて漁場を選択しようとするとき，むしろ豊度指数の高い所を狙うであろう。それで第1表に示した値のうち，累積値で上下各1/4を占める部分を除外し，中央の1/2を占める部分を“中心漁場”とすれば，これは 7°N～2°S の 9° の範囲となる。

この場合，この中心漁場のみについての漁場位置の entropy は前と同様にして，

$$H_3=log_2 9=3.17\ bit$$

豊度指数を考えると，

$$H_4=-\sum p_i log\ p_i=3.10\ bit$$

となる。

同じ漁況図を用いても，このように検討のしかたにより，漁場の位置についての entropy を減少させる程度が色々ある。すなわち同一の漁況図も，用い方により色々とことなった量の情報をひき出すことができる。

(e)　同様なこころみを，1，7，10の各月についても計算し，4月の結果と併せたものを第2表に示す。

第2表　西太平洋（130～160°E）のキハダの漁場の緯度分布の entropy（1，4，7，10月）　（単位　bit）

H_0……漁場について全く知識がないとき
H_1……赤道南北 20° にあることを知ったとき
H_2……豊度指数の分布を知ったとき
H_3……中心漁場の範囲を知ったとき
H_4……同じく豊度指数の分布を知ったとき

Table 2. Entropy of the meridional distribution of the abundance distribution of the yellowfin tuna in the western Pacific (130°—160°E) measured by 1° in latitude (January, April, July, and October). (Unit ; bit)

H_0……With no knowledge about the fishing ground.
H_1……With a knowledge that the fishing ground occurs bewteen 20°N and 20°S.
H_2……With a knowledge of the abundance indices distribution.
H_3……With a knowledge of the range of the central region of the fishing ground.
H_4……With a knowledge of the abundance indices distribution in the central part of the fishing ground.

	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
H_0	7.45	7.45	7.45	7.45
H_1	5.32	5.32	5.32	5.32
H_2	4.96	4.43	4.62	4.21
H_3	3.70	3.13	3.46	2.58
H_4	3.58	3.10	3.11	2.42
$H_1—H_2$	0.35	0.89	0.70	1.11
$H_3—H_4$	0.12	0.03	0.35	0.16

これによると

(a) 漁場図で示された豊度指数（20°N〜20°S）によって得られる情報量は10月が最大で，次いで４，７，１月の順である。

(b) 中心漁場（全豊度指数の50％を占める所）の範囲を知ったときは漁場緯度についての“あいまいさ”は10月が最小で，ついで４，７，１月の順となる。

(c) さらに，この中で豊度指数を考えると，10月が最小で，ついで４，７，１月の順になる。

(d) 豊度密度を考えに入れることによって得られる情報量は，７月が最大で，10月，１月がこれに次ぐに対し，４月では殆んど情報の獲得がない。すなわち，７月では中心漁場内での分布にむらがあり，４月では均一にちかい。

このように，同じ漁場図を用いても，その検討のしかたにより，得られる情報量はことなる。

4. マグロ漁場に関する海況情報の情報価値

(1) 漁場位置についての情報価値

赤道太平洋のキハダの分布と海洋構造について多くの論がある。その代表的なものを１，２あげて情報価値を論ずると，

(a) 宇田（1960）等は“適水温”という考えにもとづき，キハダの適水温は 22〜28℃ とのべている。一方，太平洋平均表面水温図（例えば Robinson and Bauer，1971）によれば，この温度をもつ水温帯は周年にわたり 20°N〜20°S の全水域を被っている。

したがって，先述の例をもっていえば“ライオンが北極にいるか，熱帯にいるかも知られていない”ように事前知識のないときに，全く未知の海域で漁場を発見しようとする時には別として，すでに平年における漁場分布が知られている現在においては，このような適水温についての情報は，この魚種についてみる限り，少なくとも漁場の存在についての新しい情報は提供していない。

(b) 中村，山中（1959 既述）は“キハダは赤道反流及び南赤道海流域に分布する”といい，さらに，Yamanaka, Morita, and Anraku (1969) は water type とマグロ分布との関係をしらべ，“キハダは赤道反流水（C，E），赤道系水（E，S）に分布する”といっている。彼等の原著に示す図によれば，これらの水系は夏も冬もほぼ 11°N〜20°S の 30° の範囲に及んでいる。したがって，前節でのべたと同じく 1° を単位にとって漁場の位置を論ずるのであれば，この entropy $H_1'=log\,30=4.92\,bit$ であり，平年漁場図のもつ $H_1=5.32\,bit$ にくらべ $0.4\,bit$ の情報量の獲得である。

(c) 川合（1969）は大西洋のキハダについてではあるが，“表面水温 27℃ 以上で躍層の浅い所に漁場ができる”とのべている。この考えを仮に太平洋に適用してみるとする。躍層の浅いというのをどの位にとるかにもよるが，約 100 m とすると，ほぼ 0°〜12°N（大略）となる（八島，1975）。そうすると漁場のはばはほぼ 12° となり，漁場位置についての entropy は $log_2 12=3.59$ であり，(b) の場合よりも獲得される情報量は大きい。

(2) 漁場における魚群の分布密度を考える場合の情報価値

上述の所論を今少しくすすめ，漁場内外の魚群分布密度（豊度指数）がすでに平年漁場図によって知られている場合に，漁場構成に関する海洋学的知識によって得られる情報量を検討することにする。

考えられている広い海域（ここでは 130°〜160°E）の西太平洋の中で，海況からみて“漁場に適する”とみなされる緯度帯の内外の面積を，それぞれ A，B，そしてその各々の中で緯度 1° ごとの緯度帯 i における豊度指数の分布確率を $p_{(Ai)}$　$p_{(Bi)}$ とする。（$\sum p_{(Ai)}=\sum p_{(Bi)}=1$），また，ある緯度帯をとり，これが漁場に適す場所になるかどうかという確率 $p_{(Ai)}$　$p_{(Bi)}$ はそれぞれ，

$$p_{(A)}=\frac{A}{A+B} \qquad p_{(B)}=\frac{B}{A+B} \cdots\cdots(8)$$

である。

したがって，海況情報によって，ある緯度帯が漁場の内にあるか外にあるかを知った場合の条件つき entropy は

$$H_2' = -p_{(A)} \sum p_{i(A)} \; log \; p_{i(A)} - p_{(B)} \sum p_{i(B)} \; log \; p_{i(B)} \cdots\cdots(9)$$

となる。

上述の YAMANAKA. MORITA, ANRAKU により南北 20° の間で 11°〜20° S の内，外をそれぞれ A，B として示すと，前記４月のキハダについて（緯度による 1°×1° の区画の面積の相異は無視する）

$$p_{(A)} = 0.775 \qquad -\sum p_{i(A)} \; log \; p_{i(A)} = 4.664$$

$$p_{(B)} = 0.225 \qquad -\sum p_{i(B)} \; log \; p_{i(B)} = 1.664$$

$$H_2' = 0.775 \times 4.664 + 0.225 \times 1.664 = 3.98 \; bit$$

であり，先の $H' = 4.92$ *bit* にくらべ 0.94 *bit*，さらに豊度指数のみ考え海況情報を考えに入れない場合の entropy $H_2 = 4.43$ *bit* にくらべ 0.45 *bit* の情報を新に獲得している。

これらの関係をまとめると，

130〜160°E のキハダ（４月）について漁場位置（緯度 1° を単位とした）entropy は

H_1 （平年漁場図を用い，豊度指数を考えず……………5.32 *bit*

H_2 （　　〃　　　　〃　を考える……………4.43 *bit*

H_1' （海洋情報のみ考える）　　　　　……………4.92 *bit*

H_2' （海洋情報及び平年漁場図の豊度指数を考える……3.98 *bit*

$H_1 - H_1' = 0.40$ *bit*　　　　$H_1' - H_2' = 0.94$ *bit*

$H_2 - H_2' = 0.45$ *bit*　　　　$H_1 - H_2' = 1.34$ *bit*

単に平年漁場図のみによるよりも，これに前述のような水系構造という海洋情報を併せるとき，４月のキハダについて 1.34 *bit* の情報の獲得が得られる。

同様なことを各季節についておこなうと，その結果は第３表に示される。

この場合にも，３でのべたのと同じく，10月において漁場緯度の entropy は最小であり，また，水系構造という海洋情報により最大の情報量が獲得できる（第３表)。

(3) 海況の変動による漁況変動予察のための情報価値判定の一例

UDA（1952），中村，山中（既出，1959）等は西太平洋赤道海域の水温とキハダ漁場重心の移動が伴っていることを示し，温度の高い年には漁場位置が北偏し，低い年はこの逆であるといっている。また，井上，岩崎（1969）はインド洋のキハダ，メバチについて同様なことをいっている。

1972年には西太平洋では春先から水温が異常に低下し，キハダ等の漁場が南偏した（山中，1974A)。

各年についての豊度指数の緯度別分布は，数年を合して作った平年漁場図にくらべ，資料が少ないために分布の形が明瞭でないので，比較を容易にするため，緯度の平均及び標準偏差を求めた。７月の平均漁場図においては豊度指数分布による漁場緯度の平均 $\bar{l}_0 = 1.5°$ N その標準偏差 $\sigma_0 = 6.9°$ であるのに対し，1972年７月では $\bar{l} = 2.6°$ S，$\sigma = 5.7°$ であった*。平年値における分散の中には，１漁期内のばらつきと，年による漁場の位置の相違によるばらつきとが含まれている。今，海況により，ある年の漁場の位置を推定すれば，後者のばらつきは除かれる。そしてこの例では(6)により

$$G = -\frac{1}{2} \; log_2 \frac{5.7}{6.9} = 0.14 \; bit$$

の情報を得られたことになる。

＊ まぐろはえなわ統計（未公刊資料）より集計推定。

第3表　130°～160°E のキハダについて海洋情報（水系構造）を考えに入れた場合の漁場緯度に関する entropy と情報獲得量

H_1'……海洋情報のみ考えた場合
H_2'……海洋情報及び平年豊度指数分布を考えたとき
H_1 ……平年漁場図のみ使用，豊度指数分布を考えない場合
$H_1'—H_2'$，$H_1—H_2'$ ……それぞれの情報獲得量

Table 3. Entropy of the meridional distribution of the abundance indices of the yellowfin tuna between 130°E and 160°E after the oceanographic information (water type structure) being introduced.

H_1'……With oceanogrphic information alone.
H_2'……With both oceanographic knowledge and abundance indices of the average year.
H_1 ……Same as is in the Table 2.
$H_1'—H_2'$…, $H_1—H_2'$…Information gain in each case.

	Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
H_2'	4.31	3.98	3.90	3.68
$H_1'—H_2'$	0.61	0.94	1.02	1.24
$H_1—H_2'$	1.01	1.34	1.42	1.64

しかし，今の場合，海況の与えた情報は，ただ漁場のひろがりをシャープに示すということのみではない。平年にくらべ，1972年の漁場重心（豊度指数分布から求めた漁場の平均緯度）は 4.1° も南偏している。

漁場重心の年々の緯度が σ_A になる標準偏差をもつ正規分布をして変動をし，また年々の漁場はその重心のまわりに σ_B なる標準偏差をもつ分布をするとすれば，長年の漁場をまとめて集めた平均漁場図では，漁場はその重心の平均緯度のまわりに，

$$\sigma_0{}^2=\sigma_A{}^2+\sigma_B{}^2 \quad \cdots\cdots(10)$$

で示される分散をもつ正規分布をする。ただし，漁場の豊度指数は相違なく，その位置のみが年々変動しているものとする。(10)の導き出し方は後に註記する。

今の場合，σ_0 についての知識を実際のデータから得るかわりに，“平年漁場図”によって示された豊度指数の緯度別分布における標準偏差を σ_0，漁場別漁獲統計より1972年における標準偏差を σ_B とし σ_A の大体の値を推定すると，

$$\sigma_0=6.9^\circ \qquad \sigma_B=5.7^\circ \qquad \sigma_A=3.9^\circ$$

となる。

ただし，平年漁場図は1952—55年の資料によるものであり，また，1972年における σ_B の推定値が他の年にもあてはまるという保証はない。したがって，この数値計算は腰だめ的に見当をつけるためのものである。

1972年の漁場重心の南偏はその標準偏差 3.9° に比し 1.05 倍であり，漁場中心がその分布の片側でこれ以上はなれた所におこる確率は数表によれば 0.145 である。

この場合，漁場の重心が，平年の平均よりも x_0 以上だけ離れた所にできるとして，その場の漁場重心の緯度についての entropy を計算すると，これは

$$H=-\int_{x_0}^{\infty}p(x)\ \log\ p(x)\ dx \quad \cdots\cdots(11)$$

となる。この場合 $p(x)$ は漁場重心が平年の重心よりも x $(\geqq x_0)$ だけ離れた所でおこる確率である。したがって

$$\int_{x_0}^{\infty} p(x)\ dx = 1 \quad \cdots\cdots(12)$$

である。よって $p(x)$ は

$$p(x)=\frac{\dfrac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}}{\displaystyle\int_{x_2}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}dx} \quad \cdots\cdots(13)$$

という形で示される。この分子を $p'(x)$ （一般の確率関数）分母にある積分をその積分範囲の下限 x_0 の関数として $K(x_0)$ で示すと，

$$p(x)=\frac{p'(x)}{k(x_0)}$$

$$H=-\int_{x_0}^{\infty} p(x)\ log\ p(x)\ dx = -\int_{x_0}^{\infty}\frac{p'(x)}{k(x_0)}\ log\ \frac{p'(x)}{k(x_0)}dx \quad \cdots\cdots(14)$$

となる。

この(13)は解析的に解くことも出来るが手間がかかるので数値計算によって解く方が簡単である。すなわち，x と $x+\Delta x$ （Δx は H を測定するときの単位，ここでは緯度 1°）の間の

$$\Delta p'=\int_{x}^{x+\Delta x} p'(x)\ dx\ =\Delta p' \quad \cdots\cdots(15)$$

を正規分布表により求め

$$H=-\sum_{x_0}^{\infty}\frac{\Delta p'(x)}{Kx_0}\ log\ \frac{\Delta p'(x)}{Kx_0} \quad \cdots\cdots(16)$$

を求めればよい。

この例では $Kx_0=0.15$　$x_0=4.1°$　$\sigma=3.9°$　$\Delta x=1°$ であるので，これにより $\Delta p'$, $\frac{\Delta p'}{Kx_0}$, $log\frac{\Delta p'}{Kx_0}$ 等を求めると次のようになる（第4表)。

すなわち

$$H=-\sum\frac{\Delta p'(x)}{Kx_0}\ log\ \frac{\Delta p'(x)}{Kx_0}=2.404\ bit$$

一方，このような分布をする漁場重心緯度についての事前情報 H_0 は(3)により

$$H_0=\frac{1}{2}log\ (2\pi\, e\, \sigma^2)=\frac{1}{2}\ log_2\ (2\times 3.14\times 2.72\times 3.9^2)=4.01\ bit$$

したがって，このような漁場重心のいちじるしい南偏について知ることによる情報の獲得は，4.01−2.40=1.61 *bit* というかなり高い値である。

第4表 年々の漁場重心緯度が標準偏差 $\sigma=3.9°$ で正規分布をする場合，これより $x_0=4.1°$ 以上はなれた所に重心がおこる場合の重心緯度の entropy の数値計算 x ……平均重心緯度からのかたより

$$\Delta p=A_{(t+\Delta t)}-A_{(t)} \qquad Kx_0=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{x_0}^{\infty}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}dx$$

Table 4. Calculation of the entropy of the location of the center of the meridional abundance indices distribution, in case it occurs more than 4.1° ($=x_0$) apart from the average year's location, assuming that it makes a normal pattern with its $\sigma=3.9°$.

x	$\frac{x}{\sigma}=t$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^{t}e^{-\frac{t^2}{2}}=A$	$\Delta p'$	$\frac{\Delta p'}{Kx_0}$	$log_2\frac{\Delta p'}{Kx_0}$	$\frac{\Delta p'}{Kx_0}\ log_2\frac{\Delta p'}{Kx_0}$
4.1	1.05	0.853	0.052	0.347	−1.526	−0.529
5.1	1.31	0.905	0.036	0.240	−2.059	−0.494
6.1	1.56	0.941	0.025	0.167	−2.582	−0.431
7.1	1.82	0.966	0.015	0.100	−3.322	−0.332
8.1	2.07	0.981	0.009	0.060	−4.059	−0.243
9.1	2.33	0.990	0.005	0.033	−4.921	−0.162
10.1	2.59	0.995	0.003	0.020	−5.644	−0.113
11.1	2.85	0.998	0.001	0.007	−7.158	−0.050
12.1	3.10	0.999	0.001	0.007	−7.158	−0.050
13.1	3.36	1.000	0.000	0.000	—	—
14.1	3.62	1.000	—	—	—	—

$$H=-\sum\Delta p'/Kx_0\cdot log_2\frac{\Delta p'}{Kx_0}=2.404\ bit$$

5. 結 び

以上のべたことは，漁況と海況との関係に関する情報価値を判定するための考えを，手近な実例を以て示したものであり，扱った例について何かの結論を導こうとするものではない。しかしながら，現在おこなわれている漁海況予報についての評価，また，魚の分布などについての海洋研究の価値等を論ずる場合（例えば，須田，1974）に情報価値の数量化……それを得ることによってある事象に対するあいまいさをいかに減ずるか……を論ずることは1つの判断資料となり，今後のこのような研究の方向づけにも役立つものと思われる。

なお，終りに当り，このような題目の研究着手に示唆を与えられた東海大学岩下光男教授および著者に種々協力された遠洋水研海洋部員諸氏に深謝の意を表する。

文 献

土井長之 1957：魚体測定の精度個人差および測定値のちらばり方についての二，三の知見；東水研報告，(15)，1—13.

FAO 1973：Ocean and resources variability； ACMRR 71/13/ w. p. 26.

井上元男 1969：インド洋の海面熱赤道とキハダ及びキハダと混獲されるメバチ漁場の移動，日水誌，35，(10)，957—963.

川合英夫　1969：熱帯大西洋における水温構造とマグロはえなわ漁場分布との関係，I，遠水研報告，(2)，275—304．

中村広司　1954：海流とまぐろ漁場，水産科学，(14)，9—14．

中村広司，山中　一　1959：マグロ類の分布と海洋構造，日海洋会誌 (15)，143—149．

NAKAMURA, H. 1970：TUNA, Distribution and migration. Fishing News (Books), Ltd. London.

南海区水研（編）　1952：マグロ延縄漁場平年漁況図，日本鰹鮪漁業組合連合会発行．

1958：　　同

ROBINSON, M；R. BAUER 1971：Atlas of monthly mean sea surface temperature and depth of the top of the thermocline North Pacific Ocean, Fleet Numeral Weather Central. U. S. Department of Navy.

関　英夫 1969：情報理論，オーム社（東京）．

須田　明 1974：水産資源研究における環境研究，水海研報，25，19—22．

宇田道隆，岡本五郎三　1936：既往資料による日本海イワシ漁況と海況との関係，水試報 (7)，19—50．

UDA, M. 1952：On the relation between the variation of the important fisheries conditions and the oceanographical conditions in the adjacent waters of Japan. *J. Tokyo Univ. Fish.*, 38 (3), 363—389.

宇田道隆 1960：海洋漁場学，恒星社厚生閣．

八島信一 1975：西部熱帯太平洋における水温躍層上限（SLD）の変動，東海大卒論，未印刷．

YAMANAKA, H., J. MORITA, and N. ANRAKU 1969：Relation between the distribution of tunas and water types of the north and south Pacific Ocean；*Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, (2), 257—273.

山中一郎 1973：資源管理研究における海洋研究の価値についての論戦，水海研報 (23)，188—194．

——— 1974A：1972—73年の太平洋における海況と漁況の異常について，水海研報 (24)．70—80．

——— 1974B：資源管理研究における海洋研究の価値についての論戦（続），水海研報 (25)，17—19．

付　註

標準偏差 σ_1 なる正規分布をする変量 x があり，その平均値自体が，さらに平均値 0，標準偏差 σ_0 なる正規分布をするとすれば，x の分布確率 $p_{(x)}$ は

$$p_{(x)}=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\frac{(x-t)^2}{\sigma_0}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1}e^{-\frac{t^2}{2\sigma_1^2}}dt$$

$$=\frac{1}{2\pi\sigma_0\sigma_1}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{x-t}{\sigma_0}\right)^2+\left(\frac{t}{\sigma_1}\right)^2\right\}}dt$$

となる。

この｛　｝の内のみをさらに変形すれば，

$$\left(\frac{x-t}{\sigma_0}\right)^2+\left(\frac{t}{\sigma_1}\right)^2=\left(\frac{1}{\sigma_0^2}+\frac{1}{\sigma_1^2}\right)t^2-\frac{2x}{\sigma_0^2}t+\frac{x^2}{\sigma_0^2}$$

$$=\left(\frac{1}{\sigma_0^2}+\frac{1}{\sigma_1^2}\right)\left(t-\frac{\frac{x}{\sigma_0^2}}{\frac{1}{\sigma_0^2}+\frac{1}{\sigma_1^2}}\right)^2-\frac{\frac{1}{\sigma_0^4}-\frac{1}{\sigma_0^2}\left(\frac{1}{\sigma_0^2}+\frac{1}{\sigma_1^2}\right)}{\frac{1}{\sigma_0^2}+\frac{1}{\sigma_1^2}}-x^2$$

$$=\left(\frac{1}{\sigma_0^2}+\frac{1}{\sigma_1^2}\right)\left\{t-x/\frac{1}{\sigma_0^2}\left(\frac{1}{\sigma_0^2}+\frac{1}{\sigma_1^2}\right)\right\}^2+x^2/(\sigma_0^2+\sigma_1^2)$$

よって

$$p_{(x)}=\frac{1}{2\pi\sigma_0\sigma_1}\,exp.\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_0{}^2+\sigma_1{}^2}\right)\right\}\int_{-\infty}^{\infty}exp.\left[\left(\frac{1}{\sigma_0{}^2}+\frac{1}{\sigma_1{}^2}\right)\times\left\{t-x\Big/\left(\frac{1}{\sigma_0{}^2}+\frac{1}{\sigma_1{}^2}\right)\right\}^2\right]dt$$

$$=\frac{1}{2\pi\sigma_0\sigma_1}\,exp.\left(-\frac{1}{2}\,\frac{x^2}{\sigma_0{}^2+\sigma_1{}^2}\right)\frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\frac{1}{\sigma_1{}^2}+\frac{1}{\sigma_0{}^2}}}$$

$$=\frac{1}{2\sqrt{\pi}\;\sigma_0\sigma_1\sqrt{\frac{1}{\sigma_1{}^2}+\frac{1}{\sigma_0{}^2}}}exp.\left\{-\frac{1}{2}\,\frac{x^2}{\sigma_0{}^2+\sigma_1{}^2}\right\}$$

$$=2\frac{1}{\sqrt{2\pi\,(\sigma_0{}^2+\sigma_1{}^2)}}\,exp.\left\{-\frac{1}{2}\,\frac{x^2}{\sigma_0{}^2+\sigma_1{}^2}\right\}$$

$$=\frac{1}{2}\,\frac{1}{\sqrt{2\,\pi\,(\sigma_0{}^2+\sigma_1)^2}}\,exp.\left\{-\frac{1}{2}\,\frac{x^2}{\sigma_0{}^2+\sigma_1{}^2}\right\}$$

となり，よって $p_{(x)}$ は平均0，標準偏差 $\sqrt{\sigma_0{}^2+\sigma_1{}^2}$ なる正規分布となる。