

10 湧昇流と魚群生産

出所：UPWELLING AND FISH PRODUCTION.

by D. H. Cushing.

FAO Fisheries Technical Paper No. 84

1969: 6

物理的背景 — 各海洋には、南北両半球にそれぞれ反低気圧性環流（北半球：時計廻り、南半球：反時計廻り）が形成されている。そして、北半球における西部境界流は流速大（4ノット）巾狭く、東側では巾は広いが流速が小さく（約0.5ノット）になっている。

湧昇流は、東部域に形成されており、その海域では赤道に向かって沿岸に平行して風が吹いている（Wooster & Ried, 1963）。さらに、湧昇域は気象条件の悪い大陸の沖に形成され、沿岸域の気象は一般に霧が多くなっている。

なお、湧昇流の形成期間には、沿岸に狭い表層反流が形成され（Ried, Høien & Wyllie : 1958, Wyrski : 1963）湧昇機構の深さは浅く、そしてその沖合の境界は明らかではない。

Hart と Currie（1960）の模式図（図省略）によれば、沿岸湧昇流は距岸50-100km付近の収束および発散域が境界域となっており、Sverdrup（1938）による力学的境界の範囲に相当している。そして、その沖合は発散域で第2の湧昇が形成されている。この境界の沖合の第2湧昇は、風の応力のみと一致し、その渦動により生じている。

また、赤道流域にも湧昇流が形成されている。すなわち、コスタ・リカ・ドームはその典型的な例であり、東大西洋および東部インド洋にも類似現象がある。

赤道反流と北赤道流間の収束海域は、赤道から若干北偏しているために、赤道反流は 5° と 10° Nの緯度帯を流れている。クロムウェル潜流は、赤道に存在し、その上方に南赤道流にある発散がみられている。その現象は、発散による生物学的効果が、潜流上の湧昇により強化されることが可能である。

沿岸湧昇は、大部分が赤道に向かって沿岸に平行して吹く風に起因しているが、ソマリー海流は流れの傾斜により地衡的に生じている（Stommel and Wooster, 1965）。その他、インドのマルバル海岸のように、風成湧昇と地衡湧昇が同時に起きている海域もある（Darbyshire, 1967）。高温高鹹水が沖合で沈降し、そして低温低鹹水塊により沿岸水塊が置換され、さらにこの過程が北東風の強化により形成されたブラジルのフリオ岬沖の湧昇流は特殊な場合である。

生物学的背景 高緯度（ $>45^{\circ}$ ）における生産周期のパターンは季節変化が顕著となっており、生産はCritical depthが混合層より大きくなった時始まる（Sverdrup, 1953）

続いて、生産率は補償深度と混合層の深さの割合により決まるため (Cushing 1962)、太陽光量、風力および他の混合を起す季節的要因により決まる。なお、太陽光線透過層は高緯度に浅く、低緯度に深くなっている。

沿岸の湧昇域は、距岸約100km沖における発散域が境界となっているが、発散はその沖合にまで連続しているため、明らかなる境界は不明である。なお、動物性プランクトン量又は表面燐酸塩量分布における境界は、距岸100kmの沖合発散域にあるようである。従って、湧昇域の中は生物学的には、明らかに物理的境界より沖合にまで拡がっているものと考えられる。

生産と湧昇率の関係

輻射量、湧昇速度その他の諸条件と生産量との関係は Steel & Menzel (1962) から次のように表わされている。

$$P = \alpha I_0 e^{-kz} - 2e^{-kz} \dots\dots\dots(1)$$

I_0 : 表面における平均輻射量、 $g \text{ Cal}/\text{cm}^2/\text{d}$ (Steel & Menzel による Sargasso Sea の180を用いた)。

Z : 深さ、 K : 消滅係数 ($K=0.1$ 、生産が増加することによるその可能な増加は無視)、 α : 常数、 P : 1日における生産量 ($g \text{ C}/\text{m}^2/\text{d}$)、 Z_p : photic zone とすると、

$$Z = Z_p - Wht \dots\dots\dots(2)$$

ここで Wh は湧昇速度 (m/d)、

時間 t と $t + \delta t$ 間では

$$P \delta t = \alpha I_0 e^{-[K(Z_p - Wht) + 2e^{-K(2p - Wht)}]} \delta t \dots\dots\dots(3)$$

それで、全生産力 ($g \text{ C}/\text{m}^2/\text{d}$)、photic layer の底 ($Z = Z_p$, $t = 0$) から表面 ($Z = 0$, $t = Z_p/Wh$) まで湧昇水として

$$P_Z = \int_{t=0}^{Z_p/Wh} \alpha I_0 e^{-[K(Z_p - Wht) + 2e^{-K(2p - Wht)}]} dt \dots\dots\dots(4)$$

$$= \frac{\alpha I_0}{-2KWh} \left[e^{-2e^{-K(2p - Wht)}} \right]_0^{2p/Wh}$$

$$= \frac{\alpha I_0}{2KWh} (e^{-2e^{-KZ_p}} - e^{-2}) \dots\dots\dots(5)$$

湧昇域

主な湧昇域における、形成季節とその面積を示す。

カリフォルニア海流

| 海 | 域 | 時期(月) | 長さ(km) | 巾 (Km) | 面積 ($\times 10^3 \text{ Km}^2$) |
|------------------|-------------------|---------------|--------|--------|--------------------------------------|
| Baja California | -Point Conception | 2.3.4.5.6.7. | 880 | 190 | 169 |
| Point Conception | -Cape Mendocino | 4.5.6.7.8.9. | 560 | 190 | 106 |
| Cape Mendocino | -Cape Flattery | 5.6.7.8.9.10. | 800 | 290 | 230 |

南アメリカ西岸(ペルー海流)

| | | | | | |
|---------------|----------------|-----------------------|-------|-----|-----|
| Cape Blanco | -10° S | 2.3.4.5.6.7.8.9.10. | 720 | 400 | 288 |
| 10° S | -Arica | " | 1,300 | 170 | 191 |
| Antofagasta | -Cape Carranza | 12.1.2.3.4.5.6.7. | 1,500 | 250 | 375 |
| Cape Carranza | -45° S | 8.9.10.1.1.1.2.1.2.3. | 1,000 | 150 | 150 |

北アフリカ西岸(カナリ-海流)

| | | | | | |
|-----------------|-------------|---------------------|-------|-----|-----|
| Freetown | -Dakar | 1.0.1.1.1.2.1.2. | 800 | 50 | 40 |
| Dakar | -Cape Blanc | 10.1.1.1.2.1.2.3.4. | 700 | 150 | 105 |
| Cape Blanc | -Canaries | 4.5.6.7.8.9. | 1,000 | 300 | 306 |
| Canaries | -Casablanca | 4.5.6.7.8.9. | 1,000 | 150 | 150 |
| Cap st. Vincent | -Vigo | 6.7.8.9.10. | 600 | 150 | 90 |

南アフリカ西岸(ベングウェラ海流)

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|
| Point Noire | -Porto Amboin | 2.3.4. | 700 | 50 | 35 |
| Baia dos Tigers | -Walvis Bay | 12.1.2.3.4.5.6.7. | 800 | 300 | 240 |
| Walvis Bay | -Orange River | 9.1.0.1.1.1.2.1. 2.3.4.5.6.7.8. | 700 | 300 | 210 |
| Orange River | -Cape of Good Hope | 9.1.0.1.1.1.2.1.2.3.4. | 700 | 220 | 144 |

インド洋(ソマリー沖)

| 月 | Guardafuiから湧昇域までの距離 | 面積 |
|----|---------------------|-------------------------------|
| 5 | 375 Km | $94 \times 10^3 \text{ Km}^2$ |
| 6 | 625 | 112×10^3 |
| 7 | 625 | 112×10^3 |
| 8 | 375 | 94×10^3 |
| 9 | 375 | 94×10^3 |
| 10 | 200 | 61×10^3 |

水産海洋研究会報第16号

インド洋(バキスタン沖)

| 月 | 海 域 | 長さ(Km) | 巾(Km) | 面積 ($\times 10^3 \text{ Km}^2$) |
|----|------------------------|--------|-------|--------------------------------------|
| 5 | As Salala-Ras Al Hadd | 720 | 175 | 126 |
| 6 | As Salala-Ras Al Hadd | 720 | " | " |
| 7 | Ras Fartak-Ras Al Hadd | 920 | " | 161 |
| 8 | Mukalla-Ras Al Hadd | 1,240 | " | 217 |
| 9 | As Salala-Ras Al Hadd | 720 | 150 | 126 |
| 10 | Marbat-Al Khalaf | 430 | 75 | 32 |

なお、その他に次の海域にも湧昇流が形成されている。

インド西岸

| | |
|-----------------|-------|
| Alleppey-Guilon | 9-10月 |
| Alleppey-Cochin | " |

ベンガル湾

| | |
|----------|------|
| Walthair | 2-3月 |
|----------|------|

タイ湾

| | |
|-----------------|-------|
| 西 岸 | 8月 |
| 北 西 岸 | 10-1月 |
| 12° N、101° E 周辺 | 周年 |

Banda 海

Flores 海 夏 期

Arafura 海

さらに、小規模な湧昇流はパナマ湾にも離岸風が卓越する時に形成され、また Garner (1961) はニュージーランド南島の北東岸および北島北端の Cape Reinga における沿岸湧昇流を報告している。

湧昇域の生物学

魚のストックが年々湧昇域内で維持されるため、湧昇域を生物学的単位と考えることが出来よう。カリフォルニア・サーディンは、物理的に明らかなように、Punta S. Eugenis および Point Conception と San Diego 間(湧昇域)の沖で産卵している。ペルーのアンチョベーターは、冬の終わりから夏の始めにかけて Punta Aguja と San Juan の

間で産卵し、その時期に Ekman transport がもっとも顕著となっている。(Wooster & Reid 1963)。なお、卵の高密度分布域は距岸100Km以内にあり、その海域では炭素量も高くなっている(Forsbergh & Joseph, 1964)。その結果、カリフォルニア・サーディンおよびペルーのアンチョベーターは湧昇線近くで産卵している。

また、湧昇域における動物の垂直分布は特に興味をもたれている。即ち、ペルー沖で得られた魚群探知器による資料によれば、湧昇域に形成された温度躍層内に、アンチョベーターと考えられる魚群反応が現われている。

さらに、躍層の下層には恐らく広範囲にアジが棲息し、50フェゾム以深から海底に接してヘイクが分布しているものと考えられる。

そして、このSectionにおいて、湧昇域が生物学的単位であるという考え方からこれら魚族が一つの集団となっており、湧昇域における漁業生物学的方法が広い意味を有することになる。

論 議

世界における湧昇域を示すものに、アメリカ式捕鯨時代におけるマッコウクジラの捕獲分布(Townsend, 1935)がまず上げられる。その他に、海底における磷酸の沈澱量(Tooms, 1967)およびグアノ島の分布(Hutchinson, 1950)なども湧昇域を示す有力な指標となっている。

湧昇流の流速は推算されているが、その測定は流速が1m/日以下の非常に小さいOrderのため困難な問題が多い。

その湧昇速度と栄養塩類の消費および草食動物と生産の間における関係を解明しなければならぬ。さらに湧昇域の調査で特に問題となる点は、例えば詳細な湧昇機構、生産と湧昇率、温度躍層に対応した魚の鉛直移動、餌科などに依存する魚族資源の研究をすべきである。

(抄訳 奈 須 敬 二)

11 ギニア湾の東部熱帯大西洋域における中層動物

出所: The pelagic mid-water fauna of the eastern tropical Atlantic with special reference to the Gulf of Guinea
by G. L. Voss

Proceedings of the symposium on the Oceanography and fisheries resources of the tropical Atlantic, 1966