

## D. S. L. (超音波偽底像) と漁業

宇田道隆

10年前には“幻の海底”といわれた奇現象も、科学の前によりやくそのベールがはがされてきた。日中は下層に潜み、夕に昇り、朝より下るこの“幻の海底”は、実は漁業とはきつてもきれぬプランクトンの集団なのである。過去三カ年の総合的研究から、これを解明することは漁業に大きな好結果をもたらすことが結論づけられているが、その業績についてわかり易い説明を宇田教授にお願いした。今に D.S.L. を語らずしては網入れもできない時代が来るかも知れない。

### 幻の海底への挑戦

Deep Scattering Layer (略してD.S.L.) は直訳すれば深海音波散乱層というわけだが、この発見とその本体に関する研究は、第2次大戦中に米国スクリッブス海洋研究所で戦時研究に従事していた3人の物理学者エイリング (C. Eyring) クリスチアンゼン (R. Christiansen) レイト (R. Raitt) がカリフォルニア近海の150~450フアツム深の水層でたまたま発見した奇妙な層 (3人の頭文字をとつてE. C. R層といわれた) にはじまる (Scatterer) (1948年)。『この層は、日中でも何か音波を散乱する物が集つていて反響 (エコー) をもどすが、夜間は全く反響がないから、水中に浮んだ固体のような無生物ではない。どうもたくさんの生物の集群らしいし、それが夜反響の出ないぐらいの表層へ上昇するものではないか?』と3人が海洋生物学者マーチン・ジョンソン (M. Johnson) にその散乱体の生物の本性と習性の研究を頼んだ。

Johnson (1948) は日周鉛直移動をする大型動物プランクトンがその正体でないかと考えて、1945年6月26日E. W. Scripps号でLoma岬沖20哩の水深4000フィート以上もある海谷の上で、18KCの音波をつかうと日中900フィート深にD.S.L.の微かな反響があり、夕方になると上昇して表層

に達し、夜間は反響を見なかつたが、翌早朝にまた表面からはなれて下降し、前日の昼間の水層にもどることを知つた。彼は2日間採集網を引いた結果、動物がこの層に集中して出現 (1インチ長の大型動物はD.S.L.層に最多) することを見出して、動物プランクトンと散乱層は直接相関を示すと結論した。その後米・英・独・佛など諸国で追究せられ、D.S.L.は各大洋 (極洋まで) に広く分布し、日中は下層に潜み、夕に昇り朝に降る日周運動と、その本体は大型動物プランクトンや魚類であることがだいに分つてきた。〔科学〕1952年2月号、宇田、海中超音波水産物研究参照

ところで、日本では、昭和16年5月5日~20日に日本海溝の上で寒暖流の潮境の場所で当時N層と名づけたD.S.L.類似の層が見出された (橋本富寿、1951、水産研究会、研究資料、No. 24)。その後も False Bottom (偽海底) Ghost (幽霊) Phantom Bottom (幻の海底) Plankton Bottom (プランクトン底) などといわれた。このプランクトンを主体とすると思われる生物群からの超音波散乱反射は、1952年まで漁船研究室、東海区水産研究所などの研究で断片的に推知されてきた。しかしこれまで日本近海ではD.S.L.の系統的な調査研究も、またこれに関する具体的な採集も行われていないし、D.S.L.と漁場との関係などは何処の国でもあまりやつていない。

日本では、音響魚群探知機の試作が1929年農林省水産講習所物理研究室で田内森三郎博士の先見に導かれ、木村喜之助技師によつてなされ、池中およびイクスの魚（マガイ、チヌ、マグロ、イワシ）につき200kcの水晶板圧電利用超音波で成功し、つづいて1942年同室の三善清池、宮崎千博両氏が磁歪式超音波（100kc）のものを試作して成功したのがはじまりで、終戦後海軍の技術解放とともに急激な進歩により、1950年ごろから産業的に広く実用せられるようになったので、D.S.L.の研究にも事欠かなくなつてきた。そこでわれわれは研究グループをつくつて超音波魚群探知機によつて示されるD.S.L.の実態をしらべ、その成因を解き明かし、魚群の移動集散との関係を探求して漁場の判定を行い、水産学上新領域を開拓しようとした。

幸い昭和27年度から文部省より科学試験研究費の交付を3カ年に亘つて受け、そのおかげでこの研究が進められた。研究者グループの委員とその題目は次の通りで、施設の関係上東京水産大学が中心的役割を果すことになつた。

1. 総合海況および漁場研究…宇田道隆(水大)  
(委員会代表)
2. 超音波反射層の本体に関連する有用魚族の漁獲研究 ……庵原順一(水大)
3. 海底その他の海洋調査…新野 弘(水大)
4. 魚探機と偽底像の研究…熊凝武晴(水大)
5. 最も効な魚探機の研究…橋本富寿(漁船研)
6. 超音波偽底像に関連する海洋生物および特殊水質に関する研究 ……松江吉行(東大)
7. 海洋生物に関する研究…久保伊津男(水大)
8. 海洋調査、海水分析研究…渡辺信雄  
(東海区水研)
9. 水中カメラ、水中照度、水中テレビ等による研究 ……佐々木忠義(水大・科研)
10. D.S.L.生物採集に関する研究…

中井甚二郎(東海区水研)

以上の外に実習船海鷹丸、神鷹丸、青鷗丸、7号艇の船長以下乗組員および各研究室の諸氏が参加された。この研究の成果のあらましを以下にスケッチするに当つて、共同研究の方々に感謝したい。くわしい報告は英文で近くまとめて各担当名で刊行されることになつてゐる。(東京水産大学 歐文報告・1956・予定)

### 3年にわたる研究の成果

昭和27年度には日本近海における広汎な水域にわたつて、内湾沿岸沖合に、四季を通じてD.S.L.現象がどのように現われ、且つそれが漁場とどのような関係をもつかをしらべた。8月19日～29日海鷹丸で四日市～女川間調査、9月10～15日青鷗丸で駿河湾内調査、12月2日～13日海鷹丸で下関～伊東間調査、昭和28年2月6日～20日海鷹丸で豆南海区、相模湾、駿河湾、外房近海の調査を行つた。

第2年度は研究を重要漁場に集中して、その関係法則を総合的な見地から明かにしようとする基礎実験を平行的に進めて努力し、ブリ、エビ、サバ、スケトウダラ等の漁場について調べ、これまで不明であつた魚群の回遊層、漁況、漁場のなどをD.S.L.と関連づけて解明できるようになつた。10月24日～26日東京湾口、館山湾で青鷗丸、7号艇による調査、29年3月12～19日駿河湾、相模湾における青鷗丸の調査、28年夏季海鷹丸のベリング海での調査、9月23～26日芦ノ湖で佐々木博士の実験、29年2月橋本、間庭技官の塩水エビによる室内実験、同3～4月100kc、200kc魚探機による実験が進められた。

第3年度にはこの研究の焦点を狭くしつて、前年成功したサバ・エビなどのD.S.L.につき水中テレビなどつかい、採集網を改良し、魚探機の周波数を変えて本体究明につとめた。しかし残念なことに測器の整備と陸送による不測の故障、荒天に禍されて水中テレビは不成功で、採集も完全と行かず、この点多くの問題を残した。しかし魚探機改良進歩は優秀な記録を示すようになり、殊に24kcの低周波と200kcの高周波の同時記録対比ができるようになり、従来とちがつて魚群とプランクトン群の解析分離が可能となり、また漁場の海洋構造と漁況の朝夕好良の機巧について前年までに得られた成果を確認し、自信をもつていえる新知識を加えたのは大きな収穫であつた。なおこのほかに3カ年間にひきつづいて採集網(中層引網の3型等)の考案試作実験が行われて生物採集に著しい進歩を見せたこと、水中照度の朝夕の変化を100m深まで精密に測り、太陽高度による変化を知り、D.S.L.出現層に異常偏倚のあることを見出して、D.S.L.の昇降がほぼ一定照度面に

沿つてゐる。D.S.L.が水温の...  
た。第3年度...  
山湾方面で...  
で調査した...  
をしらべて...  
漁場を探知...  
ら第1年度...  
失事故と(再...  
小笠原附近...  
まになつて...  
したいと考...

### 好

次に主な...  
摘記する。

- (1) 日本海で...  
潮と親潮の...  
D.S.L.の...  
とが判つた...  
又は塩分)

第1図 昭和...  
漁場



波状的  
上昇

第2図 DS



DSL上昇  
(濃くなる)

成果

本汎な水域に  
通じてD.S.L  
が漁場との  
月19日～29日  
0～15日青鵜  
海鷹丸で下関  
20日海鷹丸で  
海の調査を行

して、その関  
ように基礎実  
エビ、サバ、  
これまで不  
漁場のなどを  
につた。10  
鵜丸、7号艇  
湾、相模湾に  
丸のベリン  
佐々木博士  
塩水エビによ  
0kc魚探機に

くしほつて、  
L.につき水  
し、魚探機の  
。しかし残念  
測の故障、荒  
、採集も完全  
た。しかし魚  
うになり、殊  
同時記録対比  
て魚群とブラ  
、また漁場の  
ついて前年ま  
もつていえる  
つた。なおこ  
集網(中層引  
れて生物採集  
度の朝夕の変  
高度による変  
倚のあること  
一定照度面に

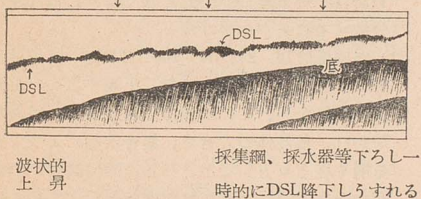
沿うていることを知ることができた。下層のD.S.L.が水温の躍層に関連して現われることも観測した。第3年度は海鷹丸、7号艇で10月16～20日館山湾方面で、30年3月14日～20日駿河湾を青鵜丸で調査した。われわれは当初マグロ漁場のD.S.L.をしらべてこれからマグロ魚群の最も濃集する好漁場を探知したいと考えたのであるが、残念ながら第1年度南洋漁場に行つた海鷹丸のプロペラ落失事故と(再度南洋へ向つた往航)昭和28年2月小笠原附近で船内盲腸急患発生事故で挫折したままになつているので、次の機会を得て懸案を解決したいと考える。

好漁場に多いD.S.L.

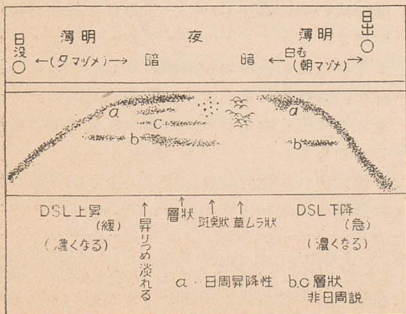
次に主な3カ年研究の結果(時に漁場関係)を摘要する。

- (1) 日本海でD.S.L.は内海、内湾、外洋でも、黒潮と親潮の流域でも、夏冬でも見出された。D.S.L.の偽底像にはいくつかの種類があることが判つた。非昇降性偽底像には、密度(水温又は塩分)躍層が多く関連するものとみられる

第1図 昭和29年3月18日夕、相模湾川奈沖ブリ漁場、DSL上昇中



第2図 DSL昇降と記像変異



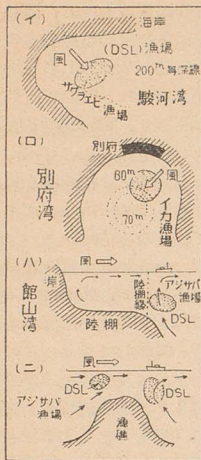
ニゴリに起因する生生物起源のものと、同じくサルパ類、クラゲなどによる生物起源のものが見出された。このような層が2つ以上ある場合D.S.L.の上昇下降の起るとき、一層から他層へ漸次記象濃厚となる例あり、昭和29年3月13日夕方焼津前では桜エビを主体とし、コベボード等を混えるD.S.L.上昇時に比較的濃く集まり暗くなるころ上層に昇りつめてから、だんだんひろがり淡くなつて、その下方にサルパクラゲ類のD.S.L.がある。一般に日周昇降性偽底像は大型動物プランクトン(Euphausia Copepoda Sagitta等)を主体とする生物起源のものでこれが漁場形成に最も関係しており、この種のD.S.L.に魚群が付物として現れることが多いとみられる。(相模湾2月、別府湾12月)珪藻類等植物プランクトンは茶褐色を呈するほど濃厚でも、鉛直分布の関係からD.S.L.に余り現われない。

- (2) 偽底像が頻繁にしかも濃く現われる場所は一般に好漁場であつて、漁船の集合も多く、漁況のよい所が多い。そしてそれは湧昇域に最もよく現われる。例えば別府湾12月のイカ漁場、館山湾および豆南の秋アジ・サバ漁場、相模湾の冬ブリ漁場、駿河湾の2.3月サクラエビ漁場などがそれである。

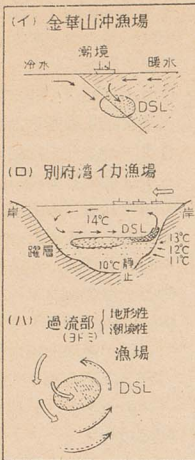
また一般にD.S.L.は沿岸および沖合の潮境(集連域例えば金華山沖)によく現われる傾向がある。ことに沿岸では陸棚縁に近い海底傾斜の急に増すところ(カク上り)に顕著である。秋冬偏北西季節風の卓越して吹き出す岸近で、深みの迫つた「ガケブチ」(陸棚縁附近)で、とりわけ200m等深線の最大曲率部(海谷頭)附近の湧昇の最も発達する所で特にD.S.L濃厚顕著者が出現し、上記の沿岸の好漁場に該当している。このほか漁礁附近(ヒョウタン礁、金洲などのアジ、サバ漁場、新黒瀬カツオ漁場、特に地形的に湧昇の最も顕著な流れの下部あるいは漁礁の前面にかたまる傾向がある)潮境附近(寒暖両流の潮境…例えば金華山沖のタジラカツオ漁場、沿岸水と外洋水の潮境の沿岸前線…イワシ、アジ、サバ、イカ、ブリ等の沿岸漁場)などに多く見出される。

好漁場と目せられる渦流域中心部も偽底像の多く現われるのはプランクトン等「散乱体」が

第3図



第4図



集積されているためであろう。

- (3) 偽底像が薄明時を中心とする「夕方上昇」と「朝方下降」を示すときは、一般漁況の最も活況を呈する「朝マズメ」「夕マズメ」といわれる日出日没前後における魚族の浮上群形成と餌付良好（索餌活動旺盛）の現象と密接に関連しており、その機巧をよく説明することができる。サクラエビ漁場では日没時サクラエビ群が海底をはなれて浮上しはじめ、天文薄明の終了ごろ表層への上昇を完了する。しかもこの偽底像昇降は一定照度面の昇降に伴い、それを追隨して起つていることから、生物群集帯の超音波散乱反射による記録映像であることが推知された。この生物群は不完全な採集によつてではあるが、小形および大形動物プランクトンが主体で、これについた小魚やエビなどの群も塊つて昇降するという複合的な構成をしているものが多いことが判定できた。ここにわれわれは漁場構成の要因をみるのできるのである。偽底像の昇降は1~8cm/s (0.6~5m/分)の程度が多く、昇るときの速度にくらべて降るときの速度が速い（例えば日没時上昇1cm/sが日没時下降1~2cm/s位）。だから昇速が重力に逆らつておそく、降速が重力に助けられて速いと考えると両者の平均の4~5cm/sがD.S.L.生物自体の運動速度と考えてよい。これは1分間2~3mぐらいで、動物プランクトンの群集運動として妥当な速さと思われる。

D.S.L.はわれわれの記録では、昼間300~400m深まで降下して水平層をなしておちつくことがわかつた。熊野灘大王崎沖20mの底深1000mの場所では410mの水深で観測した例や、駿河湾の324m深(底380m以上)で観測した例もある。

D.S.L.中でプランクトン群の集合および魚群の集合状態、静止あるいは活動の遊泳状態によつて幕状から層状に変わりあるいは斑点状、あるいは草むらに似た「乱れ型」になる。D.S.L.層の厚さは10m位から150m位に亘り一定しない。

二重、三重、多重層をなすこともあり、生物学的集群の種類異なるためのようである。※また月光の強弱および曇量による水中照度の変化はD.S.L.に敏感に反映し、その昇降あるいは稀薄化ないし消失を生じた。

D.S.L.像の月明による拡散は、月夜廻りのサクラエビ・イカ・イワシ・サバ・サンマ等集魚燈につく魚族の不漁原因を正しく説明するものである。1953年夏海鷹丸は北太平洋、ベーリング海でサケ・スクトウダラ群に関連する偽底像が月明に伴い昇降し、その濃度の変化することを確認した。すなわち13夜~18夜の満月を中心とする月明時に、月の中天高く上る時には、D.S.L.が下降しかつ広く淡くなり、散乱体が分散することがわかつた。

- (4) 偽底像は14, 24, 50, 100, 200kcの低周波から周波数にいたる音域に対し出現することを確かめられたが、この間映像に相当著しい差異が現われ、散乱体の大きさ、集合状態によつて異なる層や塊まりとして示される。漁場調査用の鮮明な偽底像記録に専用魚探機を製作する基本的資料が本研究によつて得られた(詳しくは橋本、間庭氏の報告参照)。そして、それに関連し特にサクラエビ・アジ・サバ・ブリ・イワシ・スクトウダラなど各漁場の指標となるD.S.L.の記録が得られた。さらに今後産業的試験データーを加えて広く実用普及できる水産海洋測器となるであろう。
- (5) 改良された超音波魚探機は吊下した各種の観測器具(採水器、ワイヤー、プランクトンネット

※ J.B.Hersey, H.R.Johnson, L.C.Davis(1952)はある時、所で2~19kcの周波につき色々の深さの異なる特性をもつ反響を与えるD.S.L.の散乱要素の濃集群を現わした。

ト、水中照度記録でき、月の上に大いなおよび目標物た。D.S.L.像が下降し沙  
(6) 24kc魚探機  
~0.2%で濃  
度差、水温差  
反射率の変化  
一致と、ブラ  
が反射率の大  
(7) 710<sup>-2</sup>℃  
水温水深自記  
ラと10<sup>-6</sup>ルク  
用し、D.S.L.  
からの偏倚が  
影響などにつ  
(8) 舷側から砂  
を追跡し、目  
るセンキのニ  
映像を見出し  
した春先石狩  
たニゴリによ  
降D.S.L.で  
が濁つた泥水  
分の多い暖水  
層に集積した  
に現われる。  
(9) 渦流域の中  
い。例えば伊  
ジ・サバ・ソ  
漁場等、これ  
(10) 昭和27年12  
所に低温10°C  
の躍層の上下  
差があつて(こ  
心にD.S.L.  
に密度差とプ  
するもののみ  
は海面に北西  
昇を起し、数  
構成した。大  
は10°~20°C

は、昼間300~400  
しておちつくこと  
20哩の底深1000m  
した例や、駿河湾  
測した例もある。  
群の集合および魚  
活動の遊泳状態に  
いは斑点状、あ  
になる。D.S.L  
位に互り一定した

ともあり、生物  
のようである。※  
による水中照度の  
し、その昇降あ  
じた。

数は、月夜廻りの  
サバ・サマ等集  
正しく説明するも  
北太平洋、ペーリ  
群に関連する偽底  
農度の变化するこ  
24夜の満月の中  
高く上る時には、  
くなり、散乱体が

200kcの低周波か  
出現することを確  
相当著しい差異が  
合状態によつて異  
漁場調査用の鮮  
を製作する基本的  
た(詳しくは橋本、  
それに関連し特に  
リ・イワン・スケ  
なるD.S.L.の記  
験的試験データ  
水産海洋測器とな

吊下した各種の観  
プランクトンネツ  
C. Davis(1952)は  
色々の深さの異な  
の散乱要素の濃集

- ト、水中照度計等)の水深を200m以浅で一々記録でき、所望のD.S.L.層で引網し、調査する上に大いに便益を得た。また落下使錐の水面および目標物に当つたときの音響も記録された。D.S.L.層に採集網、測器を下ろすと一時像が下降し淡くなる。(相模湾ブリ漁場の例)
- (6) 24kc魚探機はD.S.L.反射率(駿河湾)0.13~0.2%であつた。水槽で(塩分量による)密度差、水温差、プランクトン量に應ずる超音波反射率の変化を実験測定し、実験値と計算値の一致と、プランクトン量多く周波数の高いものが反射率の大きいことを知つた。(橋本、間庭)
- (7) 710<sup>-2</sup>°Cまで測れるサーミスター(水温計)水温水深自記器、360m深まで使用の水中カメラと10<sup>-6</sup>ルクスまで測れる水中照度計を試作併用し、D.S.L.層で水中照度の指数的減少法則からの偏倚が散乱光を示すことと温度躍層とその影響などにつき研究した。(科研佐々木忠義室)
- (8) 舷側から砂をまいて実験数10m深まで反射像を追跡し、且つ駿河湾奥では製紙工場排水によるセンキのゴリが海底に漂うための縞状反射像を見出した。これらは海鷹丸小沢氏が観測した春先石狩湾ニシン漁場で密度躍層に現われたゴリによるD.S.L.と似た非生物性の非昇降D.S.L.である。石狩川からは雪どけの冷水が濁つた泥水を運びだすために対馬暖流系の塩分の多い暖水上に成層し懸濁物(泥粒子)を躍層に集積したため、ニシン群はこの上層のみに現われる。
- (9) 渦流域の中心付近には偽底像をつくりやすい。例えば伊東沖「大崎出し」漁場(イカ・アジ・サバ・ソウダカツオ等)宇和島湾、イワン漁場等、これも散乱体生物の集積による。
- (10) 昭和27年12月海鷹丸は別府湾70m~75m深凹所に低温10°C、貧酸素底層水を見出し、60m深の躍層の上下は水温、塩分、溶存酸素量など大差があつて(60m以浅14°C)この躍層上縁を中心にD.S.L.の濃密出現を見たが、これは同層に密度差とプランクトン、懸濁物の集積が原因するものとみられる。この凹所の同湾北西斜面は海面に北西風(離岸風)強吹により下層水湧昇を起し、数10隻の漁船が集まるイカ好漁場を構成した。大たいわれわれの取扱つたD.S.L.は10°~20°Cの水温範囲に多く現われた。

(世界的には南水洋-1.3°~紅海21.6°C, S34. 37-40.61, E25.21~28.60)

### 大きい将来への期待

山積する外国文献は小著(「科学」1952年2月・海中超音波による水産生物研究の進歩)にのせたものの外、P. Tchernia: Remarks Concerning The Present State of The DSL Problem. International Hydrographic Review XXX.1 1953.やD.H. Cushing, Finn Devold, C. Marr and Kristojensen: Some Modern Methods of Fish Detection Echosounding Echo Ranging and Aerial Scouting FAO Bulletin. V. 3-4 1952などを参照してわれわれの成果をみると水産特に漁場調査の立場から沿岸漁場について新しい資料を提供することができたといつてよい。沖合の例えばマグロ漁場あるいは鯨漁場のD.S.L.と漁況についてはこれからの問題である。漁に最も有用な指標となるD.S.L.はやはり日周昇降性のもので多くの研究者(Johnson, Lyman, Moore, Dietz, Boden, Tucker, Marshall等)のべたようにEuphavs'aやCopepodsのごとき又は魚などの動物の濃密な濃群によつて形成されるものと考えられる。この種のもは水中照度の変化によつて主に規定されているようである。しかしこのほかに非日周昇降性の上述の石狩湾や別府湾で見たような躍層(水温、塩分、密度、酸素などの不連続層)にくぎられてきたゴリあるいはプランクトンの集つたD.S.L.もある。実はこの種のものには数百メートルを昇降するD.S.L.と異なり数十メートル以浅の浅海内にできているD.S.L.とも稱すべき「浅い散乱層」が多い。D.S.L.の記象が魚探機の性能特にkcによつて大差があることはわれわれの場合14.5kc. 24kcと200kcを同時比較して明かにし、Scatterer(散乱体)の大きさや特質に応じて、またその群態と運動によつても異なることを明かにした。さらに分解能の高い用途別にkcの切りかえの利く実用的な特殊魚探機がつくられるであろう。D.S.L.散乱体生物の採集網も大へん進歩し、サクラエビなど実際にとれたが、今後はもつと改善を加えて魚探機の要求とマッチさす必要がある。ともかくわれわれはこの海洋漁場と漁況のD.S.L.による研究に最初の一歩を下ろし、幾多の新しい問題にぶつかり、多くの収穫と共に観測採集方法の不備を知り、その改良に対し多くの示唆をうけたのである。さらに一段産業的な継続研究への躍進を次回に対して希望したい。