HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	集魚用螢光管色灯の研究(第Ⅱ報)：海中の色光分布と集魚群態について
Author(s)	黒木, 敏郎; 中山, 博; 上之, 清尚
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 14(4), 215-235
Issue Date	1964-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23194
Type	bulletin (article)
File Information	14(4)_P215-235.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

集魚用螢光管色灯の研究（第II報）

——海中の色光分布と集魚群態について——

黒木敏郎・中山　博*・上之清尚*
（北海道大学水産学部漁具物理学教室）

Studies on the Fluorescent Color-lamp for Attracting of Fish (II)

——Under-water distribution of color light density and the fish-schools aggregated——

Toshiro KUROKI, Hiroshi NAKAYAMA* and Kiyohisa UENO*

Abstract

100W in-put under-water type fluorescent color-lamps for attracting fish were used experimentally at eight points on Kagoshima Bay in summer 1957 and autumn 1958.

Seven colors of fluorescent lamps were used; white green, day-light white, cobalt, blue, pink, yellow and red. Complementally two incandescent lamps, 100 W and 200W, were used.

For the purpose of the determination of the distribution in wave length by these lamps, at various depths (5～25m), color-light densities were measured with a sensitive photo-meter which contained five kinds of color filters (V,B,G,Y and R).

Fish schools aggregated to lamps were investigated simultaneously by two fish echo-sounders, one on a shifting skiff and the other on an anchored ship. Furthermore, sea-water temperature, salinity and vitamin B_{12} were measured.

Under the attracting condition, fish caught by net or hook were young mackerel (*Pneumatophorus japonicus*, HOUTTUYN; body length 12～15cm) and other kinds (*Engraulis japonica*, *Trachurus japonicus* and etc.)

The results of the experiments may be summarized as follows:

a) Human sense for under-water color-light is different from that in the air. The under-water sense for the red lamp shifts to the short wave-length (orange) side.

b) Under-water color-light densities decrease with depth and these decreasing orders seem greater on the blue side [cf. Fig. 6].

c) The shapes of fish-school aggregated to the lamps resemble to large bowls, and these fish were very lively. It was recognized that the density of fish-school was very thin under the condition of low water-temperature and poor vitamin B_{12}, though quantitative relations between the attraction of fish and these conditions of the sea were not clear.

d) The relations between the attraction of fish and color-light density; the nearest limit of the fish-school from the lamps seems to be restrained by the density of orange light (570～620 mμ), on the other hand, the farthest range

*) 鹿児島大学水産学部（鹿児島市下荒田町）

from the lamps seeems to be controlled by the thinness of blue light (460-510 mμ). [Cf. Fig. 12]

These matters are connected interestingly with the information that the visual pigment (rhodopsin or chromophore) of fish retina has its maximum absorptive wave lengths at about 600 mμ and 500 mμ. [Reference 4)]

From these results, it may be concluded that the most effective kinds of color-light for attracting fish under these conditions are firstly white-green and cobalt and secondarily blue and daylight white. To ascertain the effectiveness further, it will be necessary to carry on more tests utilizing various color lamps and to investigate the foctors of not only water temperature, chlorinity and vitamin B_{12} but transparency, plankton and others in every test.

緒　　言

従来も集魚灯に関する研究は種々なされて来たが近年は水銀灯や色光灯による集魚の研究が盛となり学会でもしばしば発表されている。[1] しかし螢光管灯を水中で使い集まった魚群と海中色光量との関係を数値的に測定研究した報告は少いようである。

われわれは螢光管水中灯に集魚された魚群態を魚探機で調べかつ水温・塩分・ビタミン B_{12} の垂直分布など海況をも測定しつつ各色フィルターを透して各水深での色光量を測定し此等を 1957 年以来数回にわたり口頭で発表して来た。なお一層測定器材の精度を上げ実験の海域や回数ももっと広く多く蓄積して印刷発表に遺憾なきを期したいのであるが年月を経るにしたがって資料の散逸や記録の汚損も生ずると惧れられるので現在までの分をまとめてここに一報とする次第である。

この研究の実施にあたっては，鹿児島大学水産学部実習船「しろやま」(高橋船長)・同練習船敬天丸（当時源河船長）並びに鹿児島県水産試験場（当時西田場長）所属の調査試験船「ちどり」・「さざなみ」などの緊密な協力を仰いだ。また理化学研究所海洋物理研究室からは5色フィルター付水中照度計を快く貸して頂き，鹿児島大学水産学部水産化学教室ではビタミン B_{12} 微量測定の労をとって頂

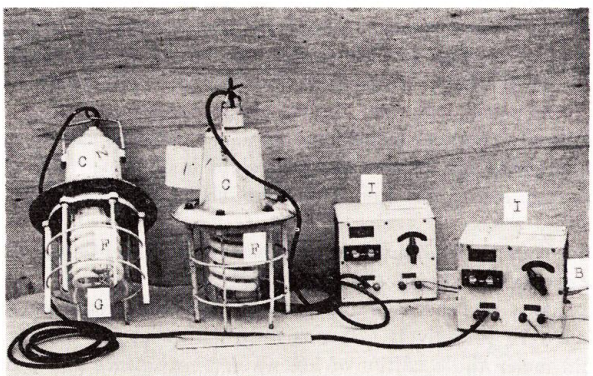


Fig. 1. Apparatus of under-water fluorescent lamps

C; lamp case, containing volt-up transformer
F; fluorescent tube (spiral type)
G; glass globe
I; inverter with switch
B; from battery

いた。種々の便宜と心からの御協力とを与えて下さった上記の機関並びに関係者各位および資料整理を手伝って頂いた北大水産学部漁具物理学教室の各員に対し深甚の謝意を表するものである。

器材概要と実験経過

実験に用いた螢光管色灯や照度測定装置などについては各色灯の空気中での測定結果と共に以前報告した[2]のでここには灯具やフィルターの概略だけを述べる。水中集魚灯は朝日電装 K.K. 製であって，DC 8 Volt 入力を AC 100 Volt へ転換する点灯器によりガラスグローブの中で螺線型螢光管に点灯する方式になっている。(Fig. 1)　色光としては緑白色・昼白色・コバルト・ピンク・黄色・赤色・青色などを使った。水中照度計には約 400mμ に最高感度をもつ増倍光電管が用いられ遠隔操作で 5 種のフィルターが（フィルター無しを含めて 6 段に）順次切換えられるように出来ている。その詳細については文献[3]にゆずり，本報では光電管の感度曲線とフィルターの透過率曲線とを掲げるにとどめたい。(Fig. 2)

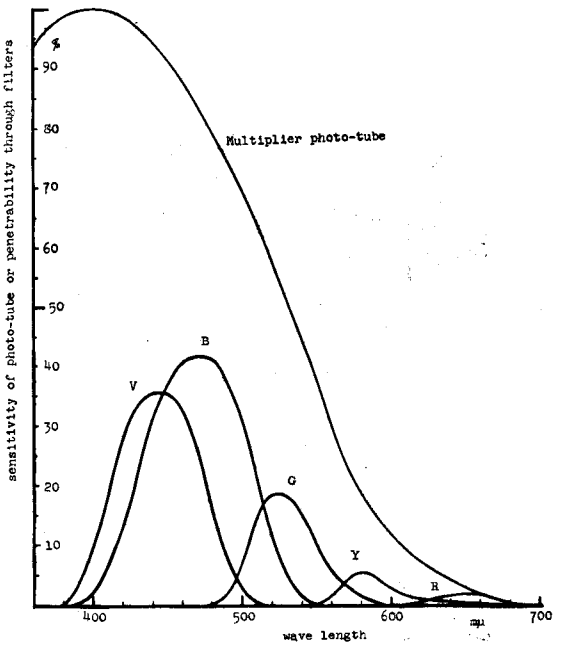


Fig. 2. Characteristics of multiplier photo-tube and color filters

Ordinates ; sensitivity of photo-tube or transmittance (corrected) through filters (%)

Abscissae ; wave length (mμ)

(Filter mark)		(Color light)	(Dominant mμ)
V	;	violet	450
B	;	blue	470
G	;	green	530
Y	;	Yellow	580
R	;	red	660～

Table I. Schedule of Experiments

Mark in Fig. 4	Date	Station point	Depth (m)	Vessel's name	Remarks	W.T.* (°C)
A, (A′)	7~8, Jun. '57	31°30.4′ N 130°40′ E	80~	Keiten-Maru	Preliminary experiments by fluorescent white green lamp only	21.8
B	31~, July '57	31°39.4′ N 130°48′ E	73	Chidori-Maru and Sazanami	Measuring of under-water distribution of light intensity under various color lamps	27.6
B′	~1, Aug. '57	31°37.2′ N 130°45′ E	~132	Ditto	Ditto, observation by a diver	27.0
C	26~, Aug. '57	31°41.3′ N 130°45.8′ E	148	Chidori-Maru	Re-measuring under various color lamps	28.9
C′	~27, Aug. '57	31°40.8′ N 130°45′ E	151	Ditto	Ditto	28.5
D	30~31, Aug. '57	31°28.6′ N 130°33.2′ E	40	Chidori-Maru and others	Lift-net fishing by using fluorescent cobalt lamp	28.0
E	19~20, Sept. '58	31°27.7′ N 130°34.5′ E	41~43	Shiroyama	Under-water photographing, V-B_{12} sampling and echo-sounding transversely over fish-school	27.7
F	10~11, Nov. '58	31°30.7′ N 130°33′ E	22~26	Ditto	Ditto	27.0

*) Water-temperature of surface just before light experiments

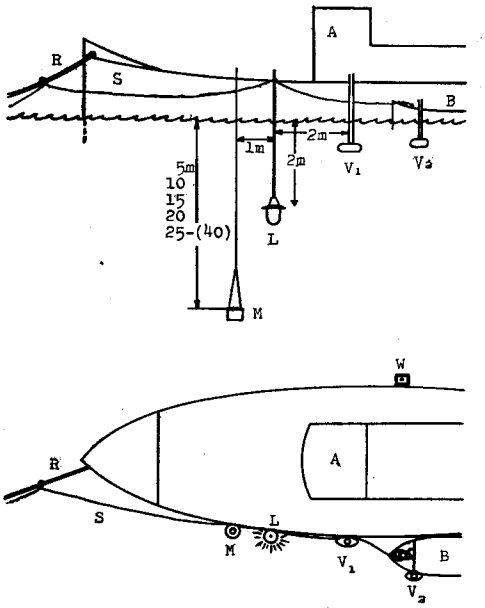


Fig. 3. Arrangement of measuring apparatus

A; research vessel
B; skiff equipped with fish echo-sounder
L; lamp for attracting of fish
M; light intensity meter with color filters
V_1, V_2; transducers of echo-sounders
W; apparatus of water sampling (for measuring salinity, watertemperature and vitamin B_{12})
R; rope for anchoring
S; ropes for measuring the distance from lamp

魚群態観測に使用した魚群探知機は，調査船に装着固定されていたものを別とすれば主に古野電気 K.K. 製の S-301 型 (50KC) または S-208 改型 (28 KC) であった。

器材配置は原則として Fig. 3 に示すように水中集魚灯（水深約 2m に保持）を中にしてそれから後方約 2m の舷側に魚探機送受波器を懸架し前方約 1 m の舷側から照度計受感部を海中へ吊下するという形をとった。灯に集まった魚群の上を横切って群態記録をとる際は，魚探機をとりつけた別の小舟を用い，本船の集魚灯位置から次第に離れロープ目印によって本船との距離を確めつつ連続的に魚探機を作動せしめるのである。

海中の色光照度分布を考慮しつつ集魚効果を調べるのであるから，月令 10～20 の夜を避け天然光にしても他の人工の光にしても集魚灯以外の光がなるべく混じないように注意を払って観測を実施し

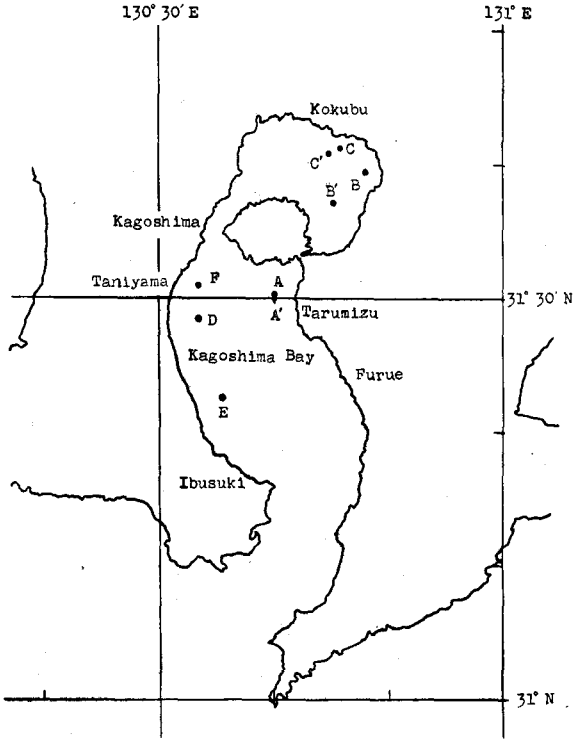


Fig. 4. Station points on Kagoshima Bay

Station	Depth(m)	Date
A	80～	7～ 8,* Jun. '57
		(*drifted to A′ about 0.5′ south)
B	73	31～ , July '57
B′	～132	～ 1, Aug. '57
C	148	26～ , Aug. '57
C′	151	～27, Aug. '57
D	40	30～31, Aug. '57
E	41～43	19～20, Sept. '58
F	22～26	10～11, Nov. '58

た。場所は鹿児島湾内 8 地点 (Fig. 4) で 1957 年夏と 1958 年夏秋とに 6 夜間だけ実験したものである。日時・地点・作業船・作業内容その他の参考事項を Table I に掲げて経過の記述に代える。

観 測 結 果

測定の項目が多岐にわたる場合には一夜のうちに全部を同時に観測し得ない事が生ずる。この実験では地点も違い日時も異なって諸資料が集められたのであるからこれをまとまった知見として述べるのは早計であろう。しかし鹿児島湾内の夏季（含初秋）の海面で実施されたマクロな観測の資料の一団として綜述する事は許されるであろうから，以下「海中での色光感」・「色光の分布状況」・「当時の海況と色光に対する集魚群態」という三項目に区分して述べることとする。

I． 海中での色光感

空気中での色光感と海中での色光感とでは当然異なる筈であって，同じ海水中における色光感でも光源と観察眼との距離の大小ではまた違うであろう。そのような差は海中にプランクトンや微細な懸濁物などのある場合には特に甚しく，同一時期同一地点であっても距離による色光感の差は空気中で

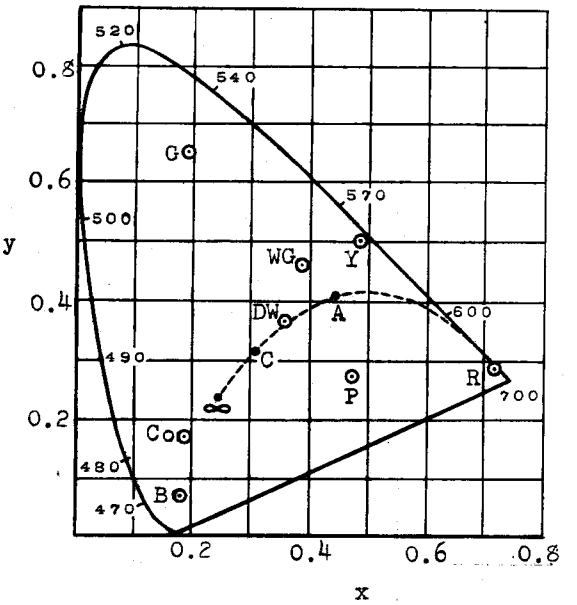


Fig. 5. Color lights used in chromaticity diagram of I.C.I. system

Mark	Color light	Value of Y*(lux)
WG;	white green	12.3
DW;	day-light white	8.6
Y ;	yellow	7.8
G ;	green	6.5
P ;	pink	3.8_5
Co ;	cobalt	1.8_0
R ;	red	1.6_3
B ;	blue	0.5_6

(*at 3m distance from lamp in air)

の常識を以てしては到底推測し得ないものがある。先ず客観的な基準を示す為に，本試験に用いられた各螢光管色灯の空気中における色度を ICI 方式で表現すると Fig. 5 のような位置にある。(註) カラー写真では絞りや露光時間のみならずフィルム特性で色彩感がズレる事も多いし印刷技術によっても色々と左右されるので PLATE のカラー写真には比較のために緑色灯の空気中での撮影結果（ASA 50, f 11, 1/100秒, 距離 1m）も上左に掲げた。水中での色光感は同色光の空中写真色を Fig. 5 の色度図の位置からスライドせしめて判断出来る訳である。PLATE の上右には昼白色灯と緑白色灯とを同時に撮った水中写真（ASA 10, f 3.5, 1/2秒, 距離 3m）を示してある。中左は昼白色灯のみを水中約 2m の距離から写したもの（他の条件は前と同じ）であって右方に仔アジらしい魚影も認められる。中右はコバルト色灯を約 2.5m より写したもの（他の条件は前と同じ，以下同様）で，キビナゴ（体長約 3～4cm）の群がまつわり付いて居るためか灯がゆらいで見える。下左と下右の写真はそれぞれピンク色灯と緑白色灯・黄色灯と緑白色灯 2 色ずつを並べて距離 3m から撮ったものである。各色灯の空中色光写真もまた他の水中色光写真も沢山掲げるべきであろうが紙面経費の関係上これらを割愛せざるを得ないのは遺憾である。

以上の撮影には科研製水中カメラを使用したがその視野の狭さのためと波浪による船の動揺のためとで色光灯がフィルム画面から外ずれてしまい写し損う事が多かった。そこで二回目からはカメラ框体の中心線に 2 箇の豆電球をつけて船上から被写色灯を見透し慎重に撮影方向を定める手法を採用した。

赤色灯についてはカラー撮影を行なわなかったので実際の色光感を記述して置きたい。これは1957年 8 月 1 日午前 1 時 25 分より同 2 時 13 分までの間鹿児島県水産試験場又木技師（当時）が潜水観察し，約 10 分ごとに水面へ出て口述したものを舷側で記録したものの要約である。「プランクトンや懸濁物が多く時々クラゲの認められる海況。赤色灯より約 15m 深層（ロープで測定）から眺めても全く色彩感は無く僅かに明るく感ずる程度。約 10m の距離で濃霧中の太陽のような卵黄色の拡がりに見える。約 7m に近づいて漸くボンボリの感じに見え，4～5m で赤いネオン管灯の感じがはっきりと生じた。この時 5W の白熱灯（比較のため普通型電球を古い水中灯具につけて吊下してあったもの）が点灯されたが，赤色光は実際の灯の大きさより広い範囲に拡がって見えるのにこの白熱光は殆ど点としか見えなかった。」

このような観察結果や上述のカラー撮影結果などを綜合してみると，色光の透る水層の厚みが増せば赤色やピンクの灯は短波長側（→橙→緑）へズレて見える一方昼白色は青色に見えコバルト灯は赤味の勝った紫色に見えるという事である。魚類が色光識別感覚を持っていて[4]たとえそれが人間に似たものであったとしても，われわれが空気中で感じている対色灯感覚をそのまま水中へ持ち込んで魚類生態を判断する訳には行かない事を知るべきであろう。

Ⅱ．各灯による色光の水中分布状況

螢光管色光集魚灯を点けた場合の海中での色光分布を測るために先ず 1957 年 6 月 7～8 日の夜予備実験を行い照度計の読みの上下限を緑白色灯で求めた。本格的計測は緑白色・昼白色・青色・コバルト・黄色等の各色灯について同年 7 月 31 日～8 月 1 日の夜間に実施したが，緑白色灯基準で建てた測定計画の水深が他色灯の場合過大であったため計器読みの値が小さ過ぎて多くの資料は精度以下に落ちてしまった。そこで改めて同年 8 月 26～27 日の夜に実測し直したのである。その位置は鹿児島湾奥部（Fig. 4 C,C′ 点）水深約 150m の地点で当夜の水温は 0m・25m・50m・75m・100m の

註）これは東堯博士考案の三色分解フィルターを組み込んだ特殊広域照度計（東京芝浦電気K.K.製）を以て北大水産学部漁具物理学教室で実測したものである。

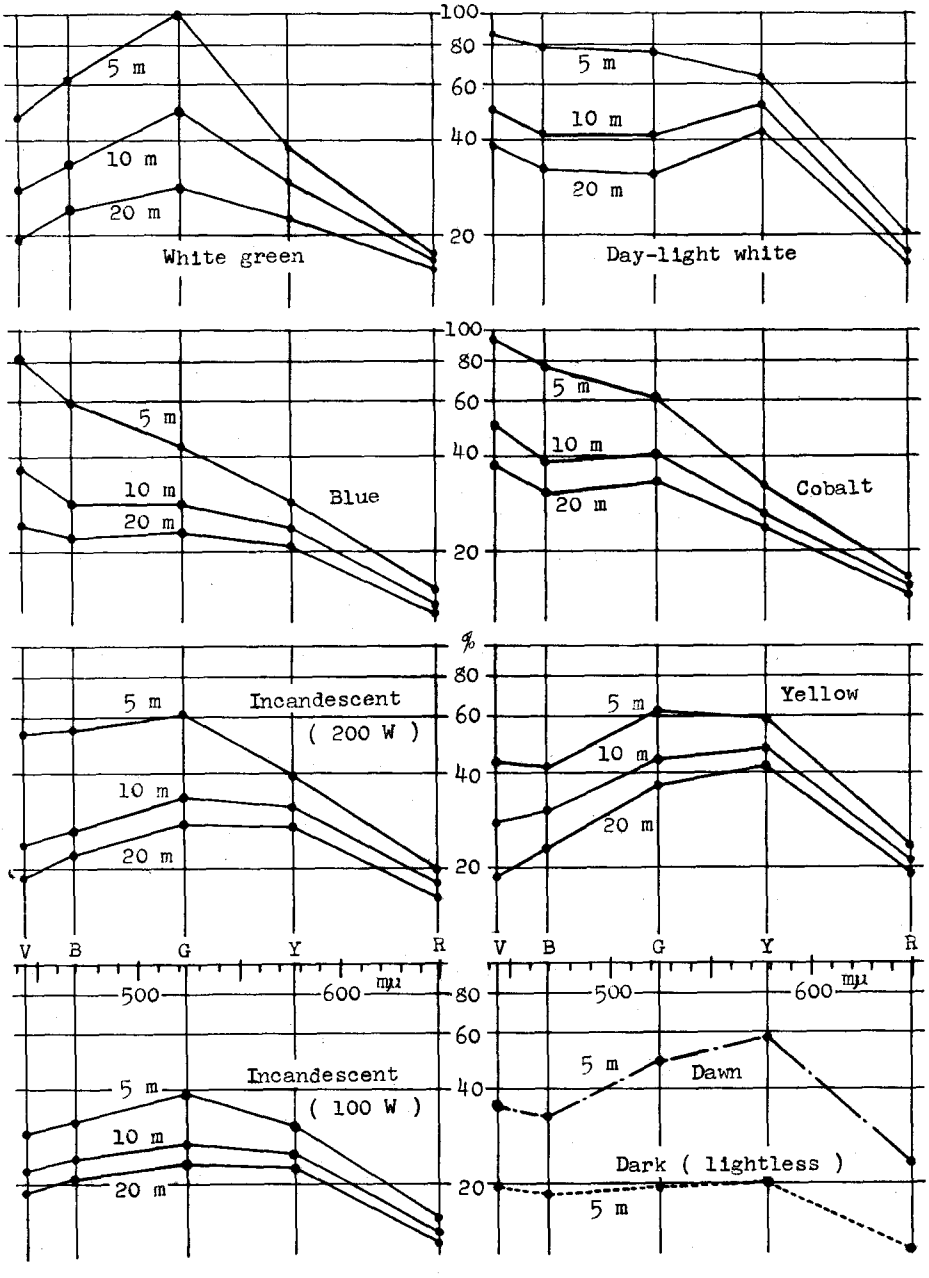


Fig. 6. Relative intensity distributions of color lights in depths

Ordinates; relative* intensity (%)

(* 100%=intensity of white green light through G-filter at 5m distance in water)

Abscissae; wave length (positions of filter dominations)

各水深層でそれぞれ 28.9°, 24.6°, 20.7°, 17.6°, 16.2°C であった。

照度測定は主として集魚灯の直下 5m・10m・15m・20m・25m の水深で直上方向からの光を受けて測る仕方に重点を置いた。水平方向の分布も測ったが測定点の数も少く海面反射光の混入や受光窓への入射角補正などのため測定値のフレも大きいのでこの資料は一応割愛して，ここには灯下垂直方向の照度変化を波長に対して各灯各水深ごとに画いた資料のみを掲げる。すなわち，Fig. 6 の横軸は波長であって 5 色フィルターの中心波長の所に各水深での相対照度が plot してある。基準として緑白色灯を点けた場合の水深 5m におけるGフィルター（中心波長約 525mμ）での計器読みを 100 と定め，他の水深・他の灯・他のフィルター（吸収係数補正）での読みを全部相対照度に換算して統一したパーセント値で対波長のマクロな分布状況を示したものである。螢光管色灯の入力はすべて約 100W であるが，比較のためにタングステン繊条の白熱電球 2 種（100W と 200W）も観測対象に入れた。また試験当夜（月令 1）の海中の無灯の場合（26 日 22 時 30 分～41 分・27 日 01 時 00 分～12 分）と夜明け脚註）の天然光の場合（27 日 05 時 09 分～16 分，但し雲量 30%）との両方についても測定したので同図に含めて示す。

同一色光灯については，照度計を沈める方の場合と引き上げる方の時と往復各1回，それを前半夜と後半夜と夫々 1 回計 4 回ずつ測定して正確を期した。しかし海中の状況は場所や時間が僅かでも異なると大きく変化し得るし，測定作業は動揺する船上でしかも無灯下（懐中電灯で読みの時だけ計器盤を照らす程度）で行なわれたのでもあるから Fig. 6 に示された結果の数値的許容誤差の範囲は相当に幅広いものがあろう。得られた結果の大体の傾向を眺める時そのような誤差を含めたとしてもなおそこには従来自然光で言われて来た事とは異なった点が見出される。すなわち，水深（水層の厚み）が大となる場合の光量の減少は必ずしも赤色光（長い波長）側で甚しいものではなくむしろ照度の高い緑色光の波長附近で甚しいように見える。紫色光（短い波長）側では緑色光と比べ幾分減少度が少いように見受けられこの波長附近では従来の定説と矛盾しない傾向が認められる。このような測定結果は前項に述べた色光感に関する知見とはほぼ相反するものであって，照度計読みの誤差や計器指度刻みの不確さのみにその原因を求めるには余りにもはっきりした喰い違いであると思われる。この事が海藻の生育に関する水深と含有色素との問題に何等かの示唆を与え得るか否かは別として，少くとも人間の眼やそれに感度を合せたカラーフィルムの色波長の受け取り方は光電池乃至光電管を受感部とする照度計と比べ空気中では等値に較正しても水中では異なったものになるのではないかという根本的な疑問にまで立ち戻らねばならないものではあるまいか。

III. 当時の海況と集魚群態

色光集魚灯の研究では，灯色の種類や明るさとそれに集まる魚群の状態との関係を数量的に測るだけでなくその際の海中の魚群環境条件をも色々と測定して考察資料とせねばならない。われわれの場合魚群を散らすおそれのある事からプランクトン採集は行なわなかったが，水温は魚群を余り乱さないまま測定出来るので集魚実験の度にこれを行なった。更に 1958 年には塩分もビタミン B_{12} をも測定したので魚群態説明と関連するもののうち同年 9 月 19～20 日夜の実測結果例を Fig. 7 に掲げる。

鹿児島湾内の海況は潮汐流の影響を受けて 1 日（24 時間）中でも大幅に変化する事がある[5]。湾外からの海流が干渉する地点は特にそうであるがわれわれの集魚灯実験を行なった地点は湾奥（4点）またはそれに近い所（4 点）であったから大幅な変動は少いようであった。それでも本例の地点（Fig. 4 の E 点）のように水深の浅い所では表層（10m）の水温が 27.0～27.9°C と 1°C 以内のフ

註）現場で東方大隅連山の嶺から太陽が見え掛つたのは 05 時 58 分であった。

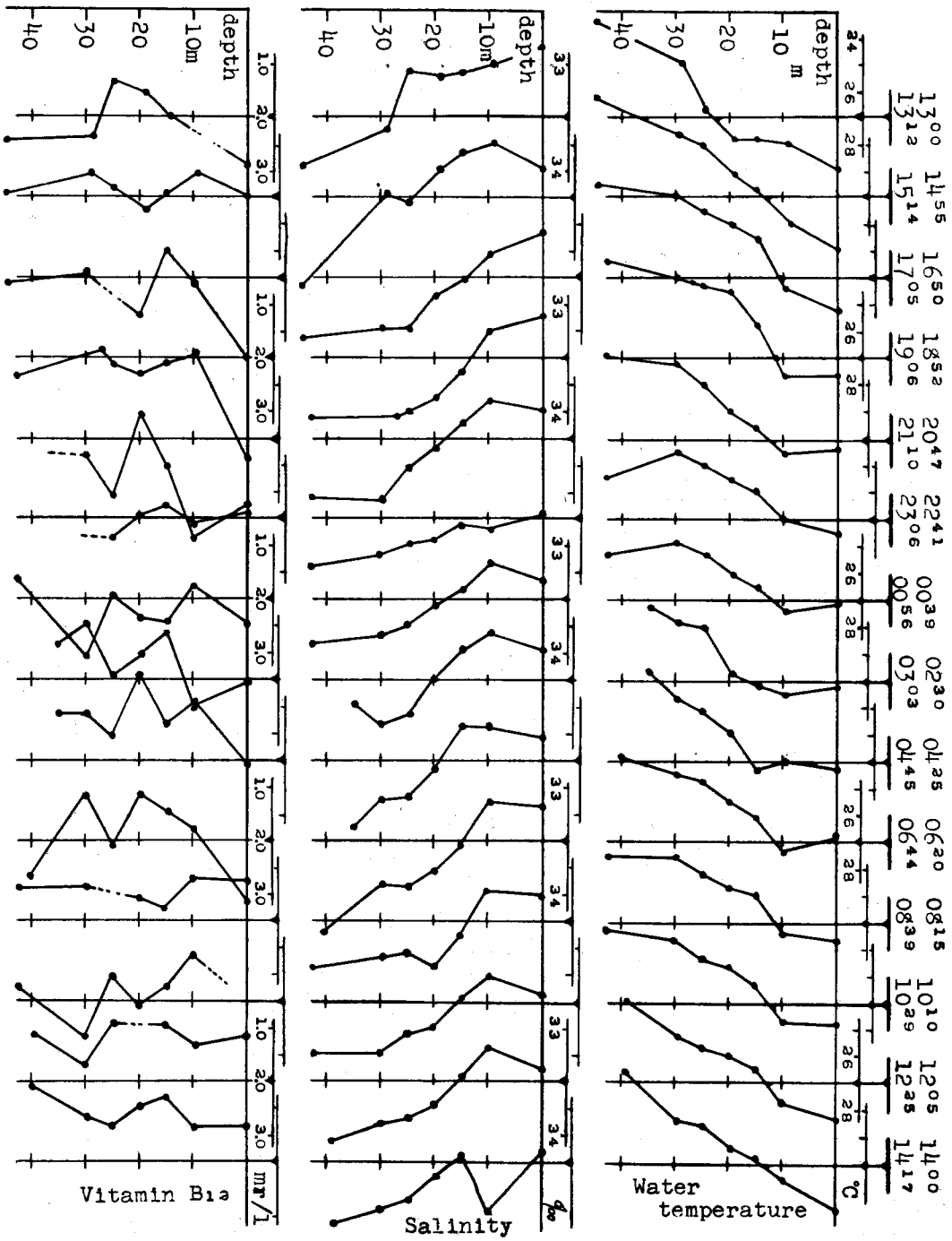


Fig. 7. Examples of sea-water conditions at station point E
Water-temperature (right figures; 24~28°C), salinity (middle fig.; 33~34‰) and vitamin B_{12} (left fig.; 1~3 mγ/l) were measured at 14 times for 25 hours, 19~20, Sept. 1958.
Ordinates; (respectively) depth in meter
Sub-abscissae; (respectively) temperature in °C, salinity in ‰ and vitamin B_{12} in mγ/l

レにとどまっているのに底層（41～43m）では 22.8～25.4°C と 2°C 以上のフレを示すと言った特異な変動を示す事があり，こんな点では灯についた魚群も海底まで濃く現われたりした。塩分変動は表層（10m 層で 33.0～33.9‰）でも底層（40m 層で 33.7～34.3‰）でも0.6～0.9‰ 範囲のフレに収まって居り，ビタミン B_{12} 量はどの層でも 1.0～3.0 mγ/l の範囲でフレている事が Fig. 7 から読みとられる。

緑白色灯を標準に選び灯色切換えの際も常に一旦緑白色灯へ戻してから他色灯へ替えるというやり方で少くとも緑白色灯に対し上述のような海況条件と魚探記録に出現した魚群の状況とを関連づけて解析しようと試みたが量的に明確な関係を見出す事は出来なかった。ただ定性的に言えば，魚群は満潮時に深い層で濃く干潮時には比較的浮上し易い傾向を持つように認められ，これを水温から判断すれば魚群は 25～26°C の環境を求めて居たように見える。ビタミン B_{12} の量は夕刻から増大し始めて前半夜に最も多くなり夜明けと共に減少して行って午後に最低量を示すという傾向[脚註]にあるから，魚群の出現量（濃さと広さ）はビタミン B_{12} 量の増減と正の相関があるようにも認められた。しかし魚群量そのものの記録上での判定が魚種やその移動速度の違いで異なったり色光灯切換えの影響も混入したりして不確実なのでこの B_{12} との相関々係もまた量的には確認し得なかったものである。

集魚群態に関しては，魚探記録を基に当夜（1958 年 9 月 19～20 日）使用した色光灯の種類とそれに集まった魚群挙動の概略とを経過時刻に応じてまとめ，これを Table II に表示する。本表の分も含め全実験中に認められた集魚群態の知見のうち特に興味深いものを述べれば次の通りである。

a）緑白色灯下水深約 6～9m の所に魚群像が 30～35 秒周期をもって現われる事があり（9 月 19 日，19 時 40 分～20 時 10 分の頃），これは灯のまわりを周泳する仔アジの群ではないかと思われた。Fig. 8 参照

b）ピンク灯下では，体長約 3.3cm（捕獲実測）のキビナゴ群が外径約 40cm の団塊をなしつつ 2.5～3.5m の水深で径 3～4m の楕円周上をグルグル旋泳していた。その魚探記録に現われる周期は

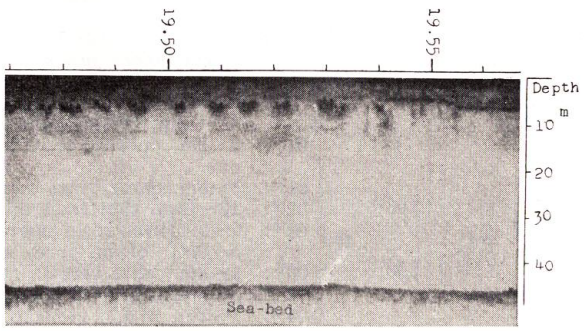
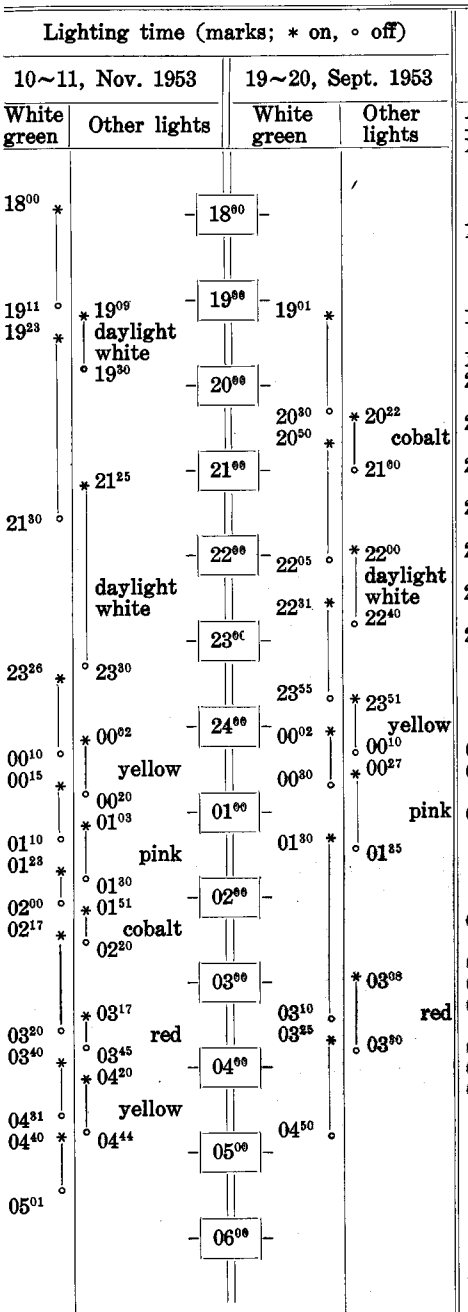


Fig. 8. Periodic traces under white green light on record of fish echo-sounder
Time; 19^{47}～19^{57}, 19, Jun. '58
Period; 40～60 sec.
Swimming layer depth; 6～9m
Fish species; *Trachurus japonicus*, body length 12.5 cm

註）この傾向は 1959 年[5]でも同じであった。日光その他の影響であるとして，鹿児島大学柏田教授等が既知濃度の B_{12} 溶存液を透明袋に入れ，水深 0～30 m の海中に沈めて光などの影響を調べた所，快晴 1 昼間の影響は水深約 20m で 50% の減少程度であるというほぼ天然水の変化を説明し得る結果を得た。

Table II. Example of experimental progress about fluorescent color lights



Examples of descriptions about echo-traces in 19~20, Sept. 1953	
13^{28}:	at 0~3m, dense trace appeared.
16^{55}:	at 4~7m, ditto.
18^{45}:	0~5 m, spotty trace; 28~32, 36~42 m less dense traces
19^{01}:	white green light switched on, lower trace rose to 23m from 30~40m.
19^{40}:	6~9m, (40~60 sec.) periodic trace
20^{30}:	under cobalt light, trace condensed to 2~8m from 6~25m.
20^{53}:	for 10 sec. light miss off, trace descended to 11~17m.
21^{00}:	4~8m, dense trace; 7~14m less dense trace
21^{56}:	0~8m, 12~17m, dense traces
22^{15}:	0~14m, dense trace; 14~18m, less dence trace
22^{25}:	3~8m, spotty trace, then gradually disappeared.
22^{30} ↑	(except 23^{49}~23^{55}; very few thin trace)
:	……almost traceless
↓ 00^{15}	
00^{30}:	2~8m, dense trace; 11~15m, less dense trace
00^{50}:	2.5~3.5m, (12~13sec.) periodic trace, *Spratelloides japonicus*
	4~8m, (12~15sec.) periodic trace, ***Trachurus japonicus***
	11~15m, (ditto) thin trace, (?)
01^{27}:	2~3m, periodic trace became continuous one.
01^{50}:	1~8m, dense trace appeared.
02^{10}:	13~16m, thin trace appeared.
03^{00}:	1~2m, 5~9m two traces aggregated each other often. (prey and predator?)
03^{15}:	1~8m, trace became more thiner.
03^{38}:	3~8m, spotty trace
04^{12}:	1~2m, small (periodic) trace; ~7m, poor spotty trace
	(fish echo-sounder interrupted.)
13^{45}:	3~8m, dense trace; 37~44m, spotty trace

12～13 秒であって船上からの目視確認と一致する事が判った。(9 月 20 日，00 時 42 分～01 時 05 分の頃)

c) 同じくピンク灯下で同時刻以後上記キビナゴ群の下方（水深 3～6 cm）に 12～15 秒の周期で現われる濃い魚群像を認め，これを釣り上げて確めた所約 12.5cm の仔アジ群であると判った。キビナゴ群は時折アジに襲われるらしく散を乱すのが銀鱗の反射で観察され，魚探記録上でも水深 3m 附近の像は次第に群形を崩して行った。更にアジ群の下方（水深 10～15m 附近）にも薄い魚群像が周期的に画かれたがその魚種や体長を確認するにはいたらなかった。Fig. 9 参照。

d) 色光の違いに対する魚群挙動の差を調べるためには色灯を切り換えねばならないが，比較の基準としては前にも触れたように緑白色灯を選び切り換えに際しては対象色灯と 2 種類を並べて 5～7 分間点灯し魚探で影響の無い事を確めてから基準色灯を消す方法を採った。最も明瞭な魚群の反応を認めたのは赤色灯であって，切り換えた直後仔アジ群が毎分 12.5m の速さで上昇してキビナゴ群と共に 1～2m の浅みにまで浮上し，やがて毎分 9.3m の速さで次第に下降して水深 8m へ沈み遂には薄く散ってしまった。(11 月 11 日，03 時 30 分前後)

e) 緑白色灯の魚群態を横断観測しようとしている時（11 月 10 日，18 時 48 分頃)，他の船がエ

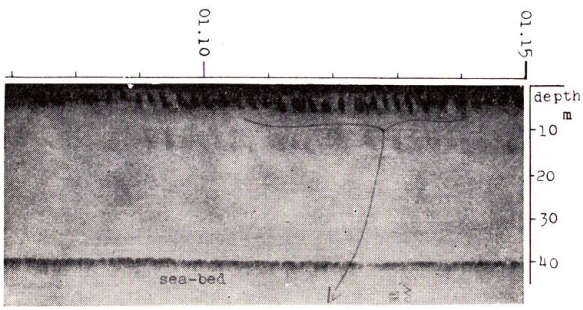


Fig. 9. Periodic traces under pink light on record of fish echo-sounder
Time; 01^{07}～01^{15}, 20, Jun. '58
Period; 12～15 sec.
Swimming layer depth; 3～6m
Fish species; *Trachurus japonicus*, which prey upon often other Fish in upper layer (2～3m depth, *Spratelloides japonicus*, body length 3.3 cm)

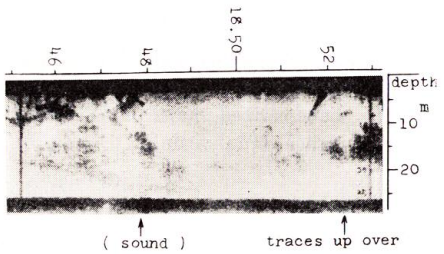


Fig. 10. Effects by sound of screw and engine (10, Nov. '58)
Trace on skiff's echo-sounder at 8 m distance from lamp (green):
18^{48}, trace decreased speedy (about 17m/s) to 16～18 m depth;
18^{52}, trace rose up slowly (about 5m/s) to surface

ンヂンやスクリューを停止せずに近寄って来た。この時，音源船から約 18m 距った本船集魚灯下の魚群の方は水深 20m 下るのに 1 分掛り元通り表層へ戻るのに 5 分掛った（つまり下降速度 20m/分・上昇速度 4m/分 であった）のに拘らず，音源から 10m しか離れていない小舟の魚探の下（本船集魚灯からは水平距離で 8m 距った所）での魚群は水深 16～18m下降するのに約 1 分を要し元へ戻るのに約 3.5 分（下降速度約 17m/分・上昇速度約 5m/分）を記録している。Fig. 10 参照。この結果から判断すれば集魚灯に近い魚群は活潑敏感であって，水中音でおどかされる度合はその音源に近くても灯に遠い魚群では弱く，音源からは遠くても灯に近い魚群では激しいものと考えられるのである。[脚註]

次に水中集魚灯に集まる魚群の空間的な形の記録を紹介する。一般に想像されているのは魚群の等濃度面がいわゆる「お椀型」をなすという事であろう。実測の結果では僅か数分間に魚群の大半が入れ替る程に目まぐるしく変るものでありその群形も決して安定ではない。これは従来の白熱電球による水中集魚灯でも認められた事である。[6] Fig. 3 に示した要領で本船のとは別な魚探機をとりつけた小舟を集魚灯の真上から水平距離 5m ずつ離れて行き（特に潮上や横の方を測る時以外は潮流にのって潮下へ）30～40m の距離まで行って折り返し灯の上へ戻って来る，その間魚探記録に印線を入れつつ記録したものを Fig. $11_{a\sim f}$ に掲げる。水中灯を中心に置き見易いように水平垂直の尺度も

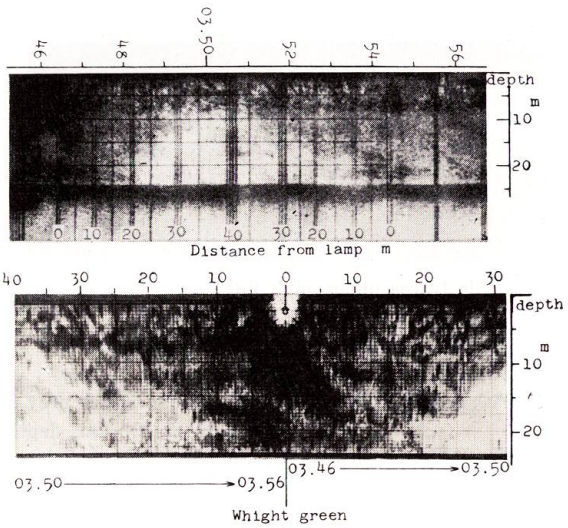


Fig. 11-a Shape of fish-school aggregated under white-green light (11, Nov. '53)
Upper half; trace recorded by echo-sounder on skiff
Lower half; hand-scribed shape of fish-school (depth scale =hoaizontal scale)

註） この章の知見は主として 1958 年（9 月 19～20 日，11 月 10～11 日）のマアジ *Trachurus japonicus* (TEMMINCK & SCHLEGEL)・キビナゴ *Spratelloides japonicus* (HOUTTUYN) を対象魚群として述べているが，1957 年（8 月 26～27 日，8 月 30～31 日）には同じくマアジ（体長 12cm 群と 16～17cm 群）のほかカタクチイワシ *Engraulis japonica* (HOUTTUYN) の体長 8cm 群やサバ *Pneumatophorus japonicus* (HOUTTUYN) の体長 25cm 群も対象となった。それぞれの魚群を構成する魚種や体長が異なる場合には集魚灯下の魚群挙動もまた幾分違って現れるから注意を要する。

等しく合せて書き直したのが同図の下半分である。中心灯を境にして左右喰い違って見えるものは潮下へ出発してから本船灯上へ戻り着く迄の数分間で集魚群形が変化した事を示す。

潮流があれば群形が下流側へ歪む事も予想される。観測の結果緑白色灯の下で潮流約0.5ノットの時，アジ魚群の中心は水深 20m の所で灯直下から約 3m 下側へ流されている事を知った。

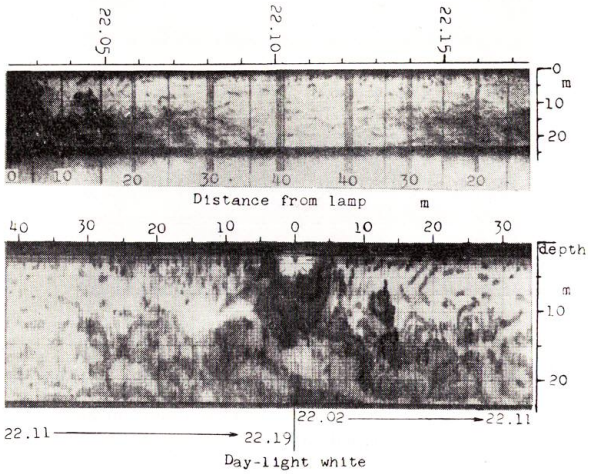


Fig. 11-b　Shape of fish-school aggregated under day-light white lamp (10, Nov. '53)
Upper half;　trace recorded by echo-sounder on skiff
Lower half;　hand-scribed shape of fish-school (depth scale=horizental scale)

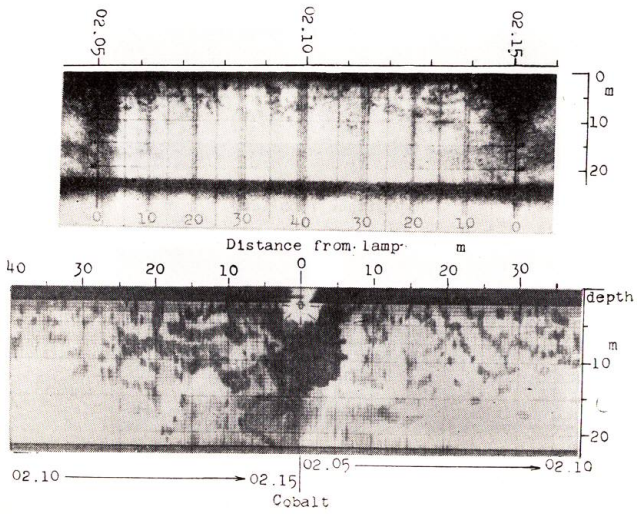


Fig. 11-c　Shape of fish-school aggregated under cobalt light (11, Nov. '53)
Upper half;　trace recorded by echo-sounder on skiff
Lower half;　hand-scribed shape of fish-school (depth scale=horizontal scale)

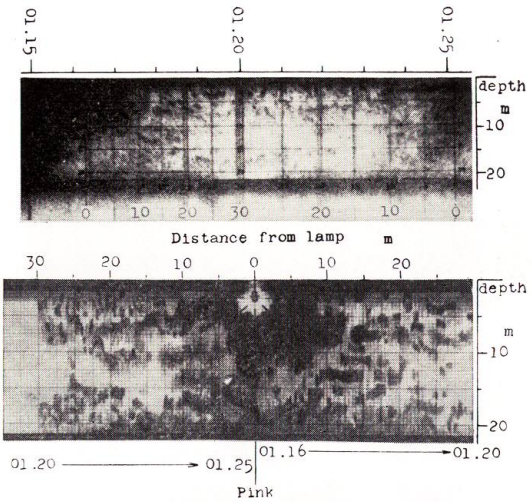


Fig. 11-d Shape of fish-school aggregated under pink light (11, Nov. '53)
Upper half; trace recorded by echo-sounder on skiff
Lower half; hand-scribed shape of fish-school (depth scale=horizontal scale)

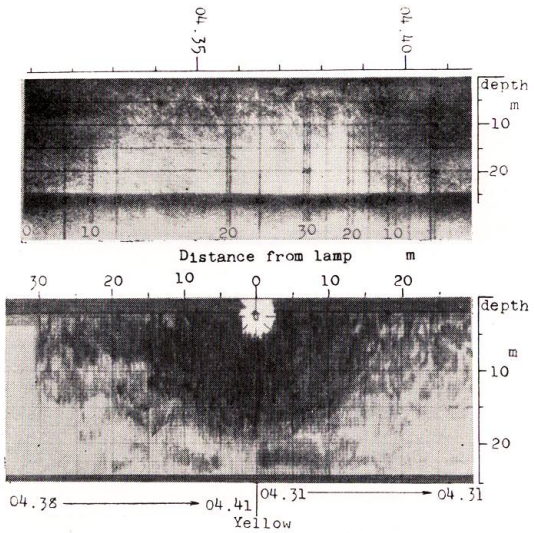


Fig. 11-e Shape of fish-school aggregated under yellow light (11, Nov. '53)
Upper half; trace recorded by echo-sounder on skiff
Lower half; hand-scribed shape of fish-school (depth scale=horizontal scale)

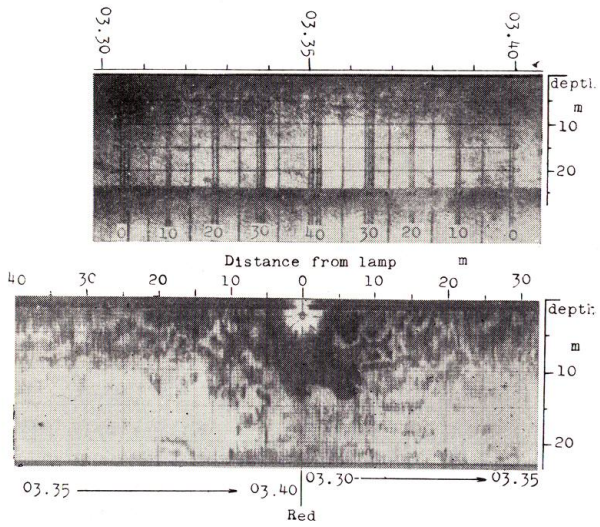


Fig. 11-f　Shape of fish-school aggregated under red light (11, Nov. '53)
Upper half;　trace recorded by echo-sounder on skiff
Lower half;　hand-scribed shape of fish-school (depth scale=herizontal scale)

考　　察

集魚灯の実験では，魚群がどの実験地点でも同じように存在し[註]かつその魚群が環境条件に対してほぼ同じような生態反応を示すものであるという想定の下に比較されてはじめて結果をまとめ得るものであるが，実際上その想定が成り立たない事の方が海上実験の常である。そこで現象論的実験観察の域を脱しようと希むならば，魚群の存在や生態を制御し得ない以上われわれは出来るだけ多数回の実験を行なうと共に諸要因をその都度綿密に調べてその結果を統計的に処理するより他ないであろう。しかしこの進み方もまた言うは易く行なうは難しの諺の通りで唯一種の魚の群態についてでさえ実施極めて困難である。この試験でも 8 地点 6 夜間について観測したのであったが，魚群の薄い例もあり色光灯を切り換えた事と魚群の集散した事との関係が必ずしも魚類の色光に対する生態反応から統一的に説明され得るとは限らない事例が認められた。

2 年間にわたるわれわれの試験では，一般に考えられている「明るさの強い光には魚群が広く集まり弱い暗い光には狭く集まる」という集魚灯の常識から外ずれるような知見は何も得られなかった。色光の場合ヒトの視覚による「明るさ」で現象をうまく意味づけようとする事には問題をはらむであろうし，光のエネルギーだけで説明する事にも亦難点を含むであろうから，色光と魚群生態との関係を簡単に結びつけてこれを表現するのには大きなためらいを感ずる。けれども実験で測られた範囲内（上述の色光灯や魚種や海況条件など）に限り，また集魚灯が網に魚群を包むという目的に合致するような 30～40m 範囲の魚の集め方で有効性を評価される限り，次のような大まかな序列が附けられ

註）集魚灯附近の魚群の実量（尾数又は重量）を測る事は実用漁法を伴なった集魚実験においてさえすこぶる困難である。垂直と水平との両式魚探を同時使用して魚群量を推定した実例については，文献 6）を参照されたい。

Table III. Data on limit layers of fish school aggregated to lamp (at B and B′; 31, Jul. ~1, Aug. 1957)

Kind of lamp	Layer depth of fish-school		Density of trace on fish echo-sounder
	Upper limit (m)	Lower limit (m)	
Before lamp lighting	0	7~18	spotty
Incandescent 100W	5	16	dense
Incandescent 200W	14	23	less dense
Fluorescent blue light	4	18	dense
Fluorescent white-green light	13	20	very dense

てもよいであろう。

[優劣] (集魚状況) [螢光管灯色]
優 ; (広範囲に濃く集魚する): 緑白色・コバルト色
良 ; (広範囲ではあるがやや薄い): 昼白色・ピンク色
可 ; (狭いけれども濃く集魚する): 黄 色・青 色
不可 ; (狭く集魚するがやがて散る): 赤 色・濃赤色

この評価は実験を通じての総合所見を非定量的にまとめたものであるが，色灯と魚群生態との関係をもつと他の観点から考察してみよう。同一夜間内の殆ど等しい条件下で照度分布の測定を行いつつ集魚し得た色光灯（含白熱電球灯）に Table III の 4 種がある。同表にはその時集まった魚群（アジ・仔サバ・カタクチイワシ混在）の上縁水深と下縁水深とを魚探記録から読み取り各集魚灯毎に示してある。一方，これらの水深における各灯の色光分布を前掲 Fig. 6 から内挿法によって求め横軸に波長をとって画いたのが Fig. 12 である。見るように魚群の上縁水深での分布曲線はほぼ 570~620mμ の波長（橙色光）のあたりで狭くまとまっている。(650mμ 赤の辺は絶対値が低くてどの色光でも近接して見えるのでこの場合には含め得ない。) 魚群下縁水深の分布曲線は全体としてまとまっているように見えるが，これは水深が深くて低い照度分布であるからこのように見えるだけであって短い波長（青）側のまとまり方は Fig. 6 と対比すれば判るようにかなりの程度と見てもよく，その波長範囲は 460~510mμ（青色光）である。

この結果から全般にわたる推論を導き出す訳には行かないが，少なくともアジ・サバ・カタクチイワシ等のこの条件下の観測結果から判断し得る事は次のような傾向である。

A. 集魚群の上縁はほぼ 570~620mm の橙色光で制限を受けるらしい。換言すれば「橙色光の強過ぎる水域には魚が居難い」もののようである。その限界明るさを空気中に引き直してみると，Y-フィルターを透して 5W の自熱電球灯を 15m の距離から見る程度に等しい。

B. 集魚群の下縁はほぼ 460~510mμ の青色光で規制されるようである。その明るさは B-フィルターを用いた時空気中で 5W の白熱灯から 3m 距てた所に相当するものである。つまり「青色光の明るさがこの程度以下しか無い所には魚は集まらない」ものらしい。(脚註)

註) 以上 A·B 両項の現象を擬人的に「これらの魚はこのような条件下では橙色光を嫌い青色光を好んでいる」などと表現するのは行きすぎであろう。また直ちに趨光性と結びつけて長期間にわたり一定の性向を持つように表現するのも正しくないと思う。餌になる生物の存否に一次的には無関係な意味での「灯光への集魚」とは，数 10 分せいぜい数時間の魚群の過渡的空間変位現象を呼ぶのであって，やがて「適応」が生じその灯に集まる性向の強さは減弱又は消滅し甚しくは逆転する事も考えられるからである。(灯に集まった餌を食べるために集まる現象は別な次元で考えねばならない。)

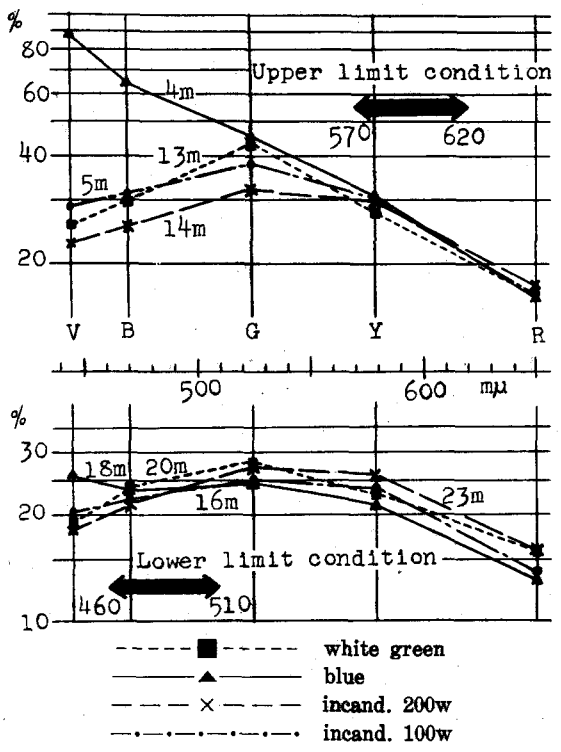


Fig. 12. Agreeable intensity zone of various colar-lights to restrain fish-school
Ordinates; relative intensity in %
Abscissae; wave length in mμ
In upper limit layer of fish-school aggregated (upper fig.), intensities of color-lights are agreeable to each other in the range of wave length 570–620 mμ.
In lower limit layer of fish-school aggregated (lower fig.), intensities of color-lights are agreeable to each other in the range of wave length 460–510 mμ.

多数回使用の結果では緑白色灯が集魚には最も有効であると認められたし，コバルト色灯と組合せて行った少数例で緑白色灯よりコバルト色灯の方が魚群を濃く集め得る事もあるという結果を得ている。このような結果は上記 A·B の推論を裏書きするものであろう。

更にまた，E.F. MACNICHOL et al. は彼等の結究結果[4]の討論の中で，魚眼の感光受容器内の rhodopsin 乃至その類似物質の最大吸収帯が 500mμ と 600mμ とに（その他に 650mμ の Cyanopsin も）ある事を述べているが，この両値がそれぞれ集魚群の下縁・上縁を規制すると思われる色波長内に含まれている事は誠に示唆に富む興味ある結果と言わねばならない。

前にも述べたように，灯に集まっている魚群は敏感活発であって，灯の点滅に際しても各色灯ごとに魚群の挙動にも若干の差のある事が認められ，また表面水温の低い時やビタミン B_{12} の少い時には魚群像も薄いように思われた。このような条件下での色光灯対魚群行動の関係を定量的に詳かにす

ることは出来なかったが，今後とも実験回数を重ねこのような諸条件と集魚群態との関連性をもっと正確に究明して行かねばならないものと思う。水中の色光を論ずるのには海水の透明度や懸濁物などの要因も同時に測定すべきであったが，この試験では 1957 年 7 月 31 日（Fig. 4 の B 点）の日没時に測定された透明度 7m という値と同年 8 月 30 日 17 時（D 点）での 15m という値とが得られているに過ぎない。濁度計などを駆使して色波長分布の測定値フレを精密に補正する作業やプランクトンや幼魚を採集して魚類の摂餌生態と関連づける作業なども今後の研究実施には欠かせない事であろう。

要　　約

入力 100W 螢光管式の水中集魚灯を用い 1957 年夏から 1958 年秋季にわたり鹿児島湾内 8 地点で水中色光分布と集魚群態との関係を調べるため試験・観測を行なった。その際集まった魚種はアジ・カタクチイワシ・キビナゴ・サバなどであったが，色光分布とそれに応ずる魚群挙動とについて得られた知見は次の通りである。

a) 水中での色光感は空気中におけるそれとは相当に違い，水層が厚いと赤い灯は橙色側へズレて見える。

b) 各水深（5～25m）における各色灯の波長分布を 5 種フィルターで調べた結果が Fig. 6 に示されている。見る通り水深を増せば青・緑色光附近では甚しく減弱するのに赤色光側では減弱の割合が低いようである。これは肉眼やカラー写真による色光感のズレとは逆の傾向である。

c) 水温・塩分・ビタミン B_{12} なども測定した（Fig. 7参照）が，これらと集魚群態との関連性を定量的にとらえる迄にはいたらなかった。

d) 灯に集まった魚群の空間的な形を魚探機で横断観測した結果を Fig. $11_{a\sim f}$ に掲げる。灯に近い魚群は遠い魚群よりも水中音や灯色切り換えに対して敏感に反応し急速な下降上昇を示す事が多い。(Fig. 10 参照)

e) 集魚群の上縁は橙色光（570～620mμ）の明るさで，またその下縁は青色光（460～510 mμ）の暗さで，それぞれ規制されるものと推定された。Fig. 12 参照。この両波長帯が魚眼に含まれる rhodopsin などの最大吸収波長帯とほぼ一致している事から考えるとこれは興味深い示唆を与える知見と言えるであろう。

本試験で得られた観測結果を通覧して最も効果的な集魚灯の色光種を選べば，最良のものは緑白色・コバルトでそれに次ぐものは昼白色やピンクなどの灯色であろう。これらの効果を量的に比較検討するためには更に多数回の実験測定を行なう必要がありかつその際塩分・水温・ビタミンは勿論プランクトンや濁度なども併せて測りこれら色光以外の環境要因と魚群生態との関連をも明かにしつつ考究して行かねばならない。

文　　献

1) 例えば，三浦鉄雄（1951）. 集魚灯に関する研究（II）水銀灯利用イカ釣漁業試験. 北大水産彙報。**1** (3 & 4), 151-155.

Blaxter, J. H. S. & Parrish, B.B. (1958). The Effect of Artificial Light on Fish and other Marine Organisms at Sea. *Marine Research*. No. 2, 1-25. Edinburgh.

草下孝也（1959）. 白熱灯および螢光水銀灯の集魚効果と水中照度. 日本水産学会誌 **25** (1), 17-21.

PLATE

Under-water photo. of the color-lights

Top left : green light, exceptionally in air as an interpretative standard color (film ASA 50, aperture 11, t. 1/100 sec, distance 1m)

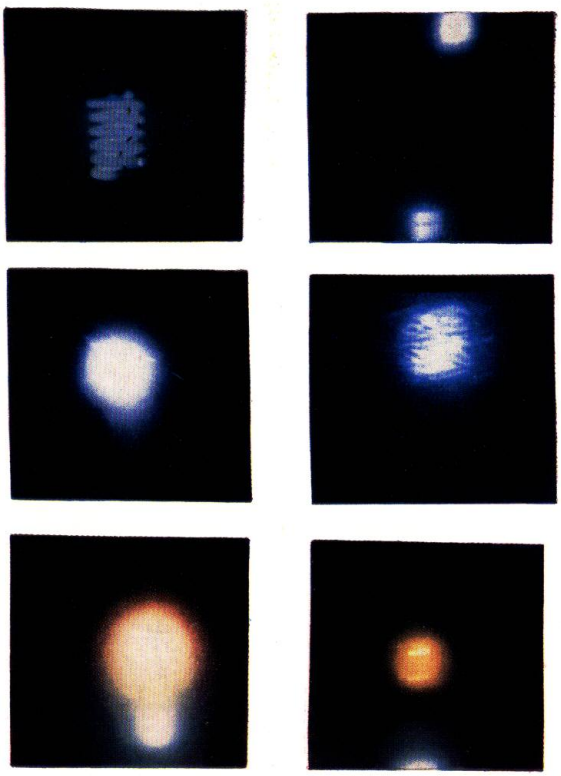
Top right : daylight white and white green, under-water distance 3m (film ASA 10, aperture 3.5, t. 1/2 sec; the rest photo. same conditions)

Middle left : daylight white, under water distance about 2 m; catch a glimps of fish (young *Trachurus japonicus*)

Middle right : cobalt light, under-water distance 2.5 m; lamp light seems flickeringly because of fish shadows (school of *Spratelloides japonicus*)

Bottom left : pink and white green, under-water distance 3m

Bottom right: yellow and white green, under-water distance 3m



2) 黒木敏郎・中山博 (1958). 集魚用螢光色灯の研究（Ⅰ）. 鹿大水産学部紀要 **6**, 95-98.
3) Sasaki, T. et al. (1955). On the Vertical distributions of the Intensity of Illumination in the Water of Lake Ashinoko. *Records of Oceanographic Works in Japan*. **2** (1), 57-70.
4) MacNichol, E.F. et al. (1961). Electrophsiological Evidence for a Mechanism of Color Vision in the Goldfish. *Symposium on Light and Life*, 795-816. Baltimore.
5) 黒木敏郎・野沢洽治 (1960). 長時間連続採水器とその活用に関する研究. 鹿大水産学部紀要 **8**, 101-110.
6) 黒木敏郎・中馬三千雄 (1958). 灯に集まる魚群の立体的記録例. 鹿大水産学部紀要 **6**, 77-81.