

発電所近傍海域におけるクラゲ分布に関する現地調査

OBSERVATION OF JELLY FISH DISTRIBUTIONS IN THE SEA AREA SURROUNDING THERMAL-POWER STATIONS

杉山陽一¹・依田 眞²・林 治巳³・服部孝之⁴・池田和彦⁵
Yoichi SUGIYAMA, Makoto YORITA, Harumi HAYASHI,
Takayuki HATTORI and Kazuhiko IKEDA

¹正会員 工博 中部電力株式会社 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1)

²正会員 工修 中部電力株式会社 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1)

³中部電力株式会社 電力技術研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山20-1)

⁴株式会社テクノ中部 環境技術本部 (〒455-8512 名古屋市港区大江町3-12)

⁵株式会社テクノ中部 環境技術本部 (〒455-8512 名古屋市港区大江町3-12)

How to prevent sucking in a large crowd of jelly fishes at intakes of sea waters is an old but still important problem for most of Japanese thermal-power stations which make use of sea waters for cooling, because they make us impossible to take waters, and will be a large amount of waste matters of which we must dispose. But, basic knowledge about jelly fish, such as their distributions and densities of a crowd, is not enough to design effective facilities that defend against jelly fish attack. We observed a crowd of jelly fish around our power plants, and got some knowledge. (a) Observed jelly fishes were crowded in the area several hundred meters around. (b) Most of jelly fishes were caught at lower layer that was about 8m below water surface and high salinity (32psu). (c) On and after rainy season, their size didn't change so much and frequency of appearance was getting small.

Key Words : Jelly Fish, Thermal Power Station, Nagoya Port, Biomass Survey

1. はじめに

火力・原子力発電所では、冷却水として海水を使用するため、古くから発電所取水口へのクラゲの大量流入に悩まされてきた。その対策としてクラゲ流入防止網など様々な方法が考案され、一部実施された結果、今日では発電停止に至る緊急事態はほとんど無くなるなど一定の成果を上げてきた。しかしながら、当社の10箇所の火力発電所を例にとると、依然として、全発電所の合計で年間1万トン前後のクラゲの流入があり、そのうち発電出力抑制の必要な事態も年数回発生している。さらに最近では、一旦陸揚げされたクラゲは廃棄物として取り扱われることが多いため、廃棄物削減の観点からもクラゲの流入をできるだけ少なくすることが必要となっている。

このためには、対象となるクラゲに関する理解をこれまで以上に深め、流入防止策に反映していく必要がある。特に問題の中心となっているのはミズクラゲである。クラゲ流入防止対策の設計に必要な実海域におけるミズクラゲの行動パターンや、群の大きさ、密度などについては、安田¹⁾の先駆的な研究からある程度知ることができるが、これらは海域毎

に異なる可能性が指摘されており、今後も研究の蓄積が必要である。また、クラゲ流入防止策の設計を指向する場合、取水口前面での詳細な情報も必要となってくる。

そこで、本研究は、クラゲ流入防止設備設計の前提となるクラゲの基礎的諸元の把握を目的として、火力発電所が多く立地する名古屋港を対象として、クラゲ分布の把握を中心とした現地調査を行った。この結果、木曽三川などから多量の淡水が流入する伊勢湾の物理環境の特性に起因すると推察される、クラゲ分布の特徴が観察されたので報告する。

2. 調査内容

現地調査は、取水口前面海域でのクラゲ分布状況の把握と、取水口でのクラゲの流入状況を捉えることに主眼をおいた。

調査は図-1に示す名古屋港内にある3カ所の火力発電所前面海域において、クラゲの被害が多い春から夏を対象とし、平成11年と平成12年の2シーズン実施した。

基本となる調査は1~3日間隔で実施した曳網調査

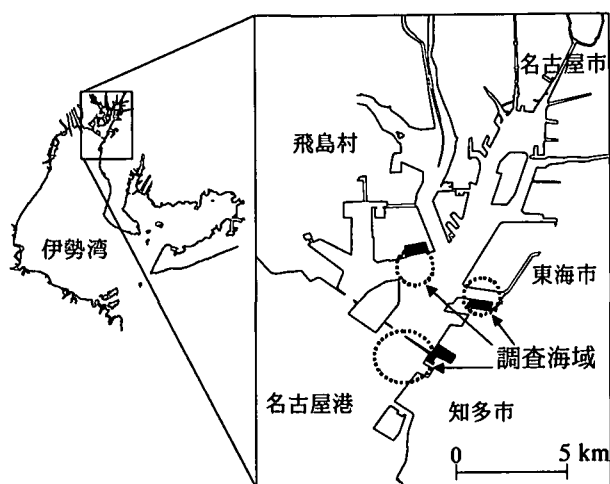


図-1 クラゲ分布調査位置

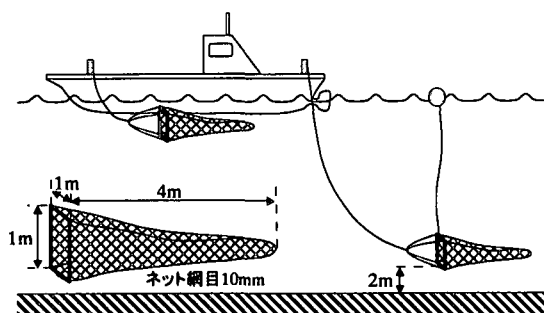


図-2 クラゲ採集調査

である。平成11年は6月7日から7月23日まで、発電所毎に長さ約300mの測線を数ライン設け、表層(水面下1m)と下層(海底上2m)をクラゲ採集ネットにより水平曳きし、クラゲを捕獲した。クラゲが大量に発見された場合には群れの分布を把握するため、側線を100m間隔にして細かく曳網した。また、採集量の多い測線付近で鉛直曳きにより、クラゲの浮遊層も確認した。クラゲ採集方法および採集ネットを図-2に示す。

しかしながら、平成11年は調査の開始が少し遅かったこと、また梅雨時期からクラゲの採集実績がほとんどなかったこと、さらに曳網ラインの間隔が粗くクラゲの分布を捉えるには不十分であったこと、などの理由により満足な成果が得られなかった。

そこで平成12年は前年の反省から調査開始時期を早めて4月10日とし、クラゲの採集量が少なくなってきた7月18日まで調査を続けた。調査海域も知多火力発電所前面海域を中心にして曳網ライン数も増やし、より詳細な分布状況を調査することにした。クラゲ採集方法は前年と同様とし、捕らえたクラゲは、総湿重量・総個体数を計測し、任意の10個体について傘径・傘厚・湿重量も計測した。同時に各測線における水温・塩分の鉛直分布を測定し、気象状況(気温、風向、風速、全天日射量、降水量)も記録した。また、知多火力発電所での日当たりクラゲ処理量も記録した。知多火力発電所前面海域曳網ラインを図-3に示す。

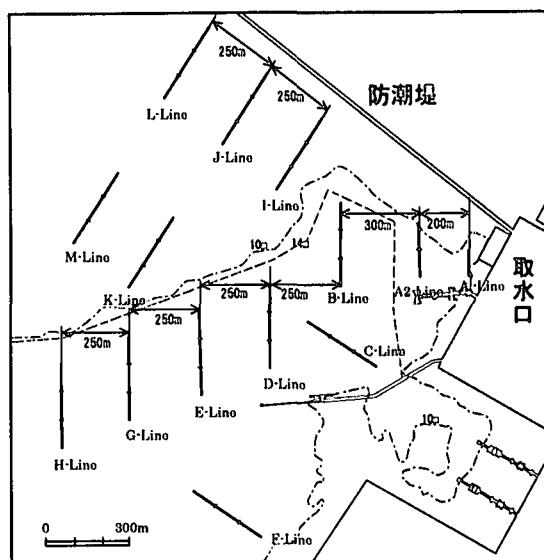


図-3 曳網ライン(知多火力前面海域)

3. 調査結果

(1) ミズクラゲの採集量と気象の経日変化

図-4に平成12年の観測期間中に採集したクラゲの採集湿重量と、発電所でのクラゲ処理量の経日変化を示す。なお、同時期の名古屋地方気象台の日平均気温・日全天日射量・日降水量を併記した。

調査期間中の日平均気温は、4月前半が15℃前後で推移し、数℃の上昇・低下を繰り返して全体的には7月中旬の25℃まで上昇した。気温が低下する時には概ね全天日射量も低下し、日降水量が増加している。降水量については、40mm程度のまとまった雨の降った日が4月、5月は各月とも1日、6月は2日あり、観測期間の後半である6月に多くの降水量を記録した。

採集調査は必ずしも毎日実施するのではなく、採集量が少なくなると調査を一旦中止し、発電所へのクラゲの流入量の増加が確認されると調査を再開した。調査を中断した期間は発電所でもほとんどクラゲを処理しておらず、採集量の経時変化は取水口前面海域におけるクラゲの分布状況を、ほぼ連続的に表していると判断できる。観測期間の前半にあたる4月から5月中旬に比較的多量のクラゲが採集され、日最大で350kgの採集量を記録している。4月には表層でも採集されることがあったが、5月以降は5月22日を除きほとんどが下層で採集された。クラゲ採集量が多い時は3、4日続き、その後ほとんど採集できない日が続く、というパターンを数回経験した。6月に入る前後からは、それ以前のように多量にクラゲが採集されることは少なくなった。同時期に降雨が断続的に続くようになっている。平成11年においても同様に、降雨が続いた以降クラゲがほとんど採集できなくなるという事態を経験している。

(2) ミズクラゲの大きさ

各ラインで採集したミズクラゲのうち任意の10個

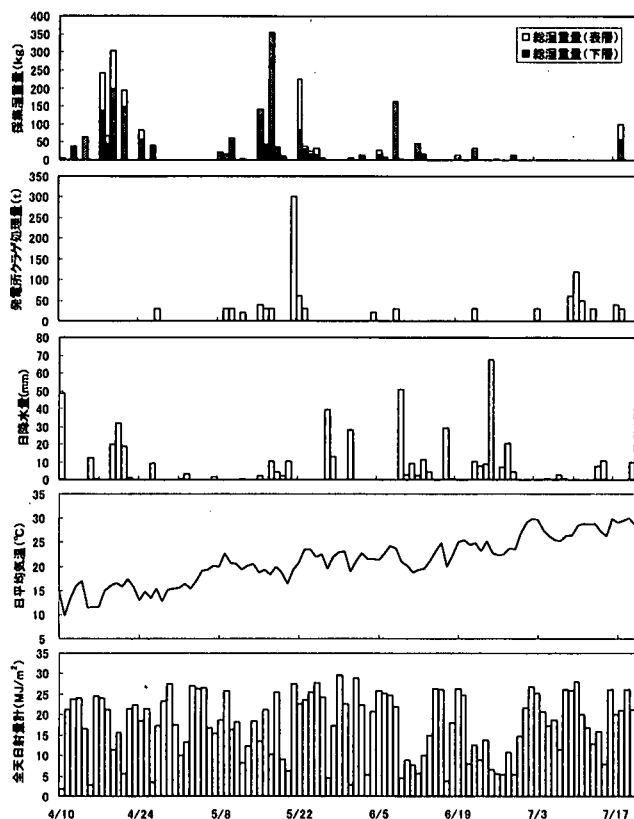


図-4 調査時の気象とクラゲ採集量

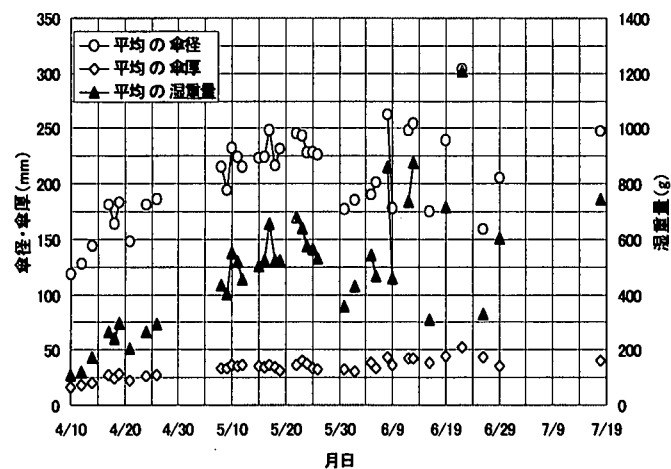


図-5 ミズクラゲの大きさと経日変化

体について傘径、傘厚、湿重量を計測した各々の平均値の経日変化を図-5に示す。4月10日頃に傘径150mm前後・湿重量200g未満であったミズクラゲが、1ヶ月経過後には傘径230mm・湿重量500g前後になっており、1ヶ月間で平均傘径が1.5倍、湿重量が約2倍に大きくなった。6月以降は採集量が少なくなったため、データにバラツキが生じているが、それ以上に大きくなる傾向はみられなかった。

次に、計測したミズクラゲ全数量の傘径と傘厚の関係を図-6に、傘径と湿重量の関係を図-7に示す。傘径と傘厚や湿重量との関係は、傘径が大きくなると傘厚、湿重量とも大きくなった。傘径と湿重量の関係は指数関数的な関係となっており、傘厚との関

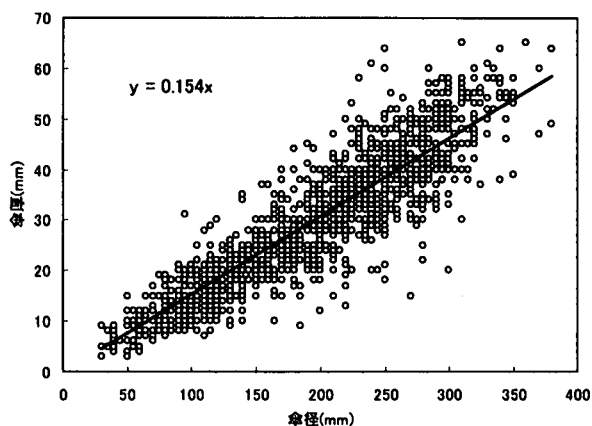


図-6 ミズクラゲの傘径と傘厚の関係

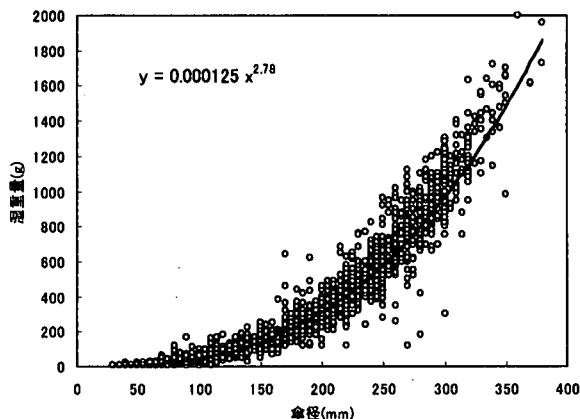


図-7 ミズクラゲの傘径と湿重量の関係

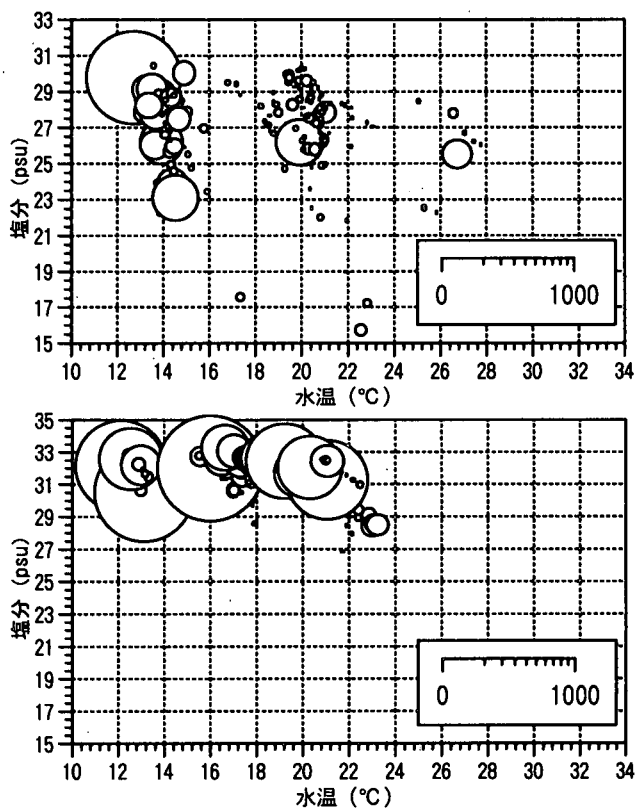


図-8 採集個体数と水温塩分
(上図：表層，下図：下層))

係は直線的であった。

傘径と湿重量の関係は安田¹⁾の浦底湾での観察結果と同様な傾向を示していた。傘径や湿重量の平均値は、浦底湾のミズクラゲは5月中旬で傘径220mm、体重400g程度であり、今回の名古屋港（伊勢湾）での平均値は傘径220mm、体重580g程度とやや大きめであった。また、今回採集されたミズクラゲの中には傘径300mm、湿重量1kgを越える大きなクラゲも多数存在したことが、特徴的であった。

(3) ミズクラゲと水温・塩分

採集個体数と水温・塩分の関係を図-8に示す。調査期間中の水温は表層が12～28℃で、下層が11～21℃であった。塩分は表層が10～30(psu)で、下層が32(psu)前後となっており、既往の調査例¹⁾を参考にすると、ミズクラゲにとって特別不利な水温・

塩分環境ではなかったと判断できる。採集量についてみると、表層では水温が12～15℃、塩分が23～30(psu)の範囲で多く採集されていた。図-4で示したように表層で採集されたものの多くは調査を開始した4月上旬におけるものであり、結果として比較的低い水温に分布しているように見えている。下層での塩分は32(psu)前後で安定しており、水温は12～23℃と比較的広い範囲で採集された。下層では調査期間中、量の差こそあれ比較的安定して採集されており、水温のレンジが広く見えるのは単純に調査期間中の水温変化の幅を表している。

(4) ミズクラゲの分布域

平成12年の調査結果の中から、表層と下層における採集個体数の水平分布が特徴的な日を選んで図-9に示す。4月17日から21日までは表層でもクラゲが

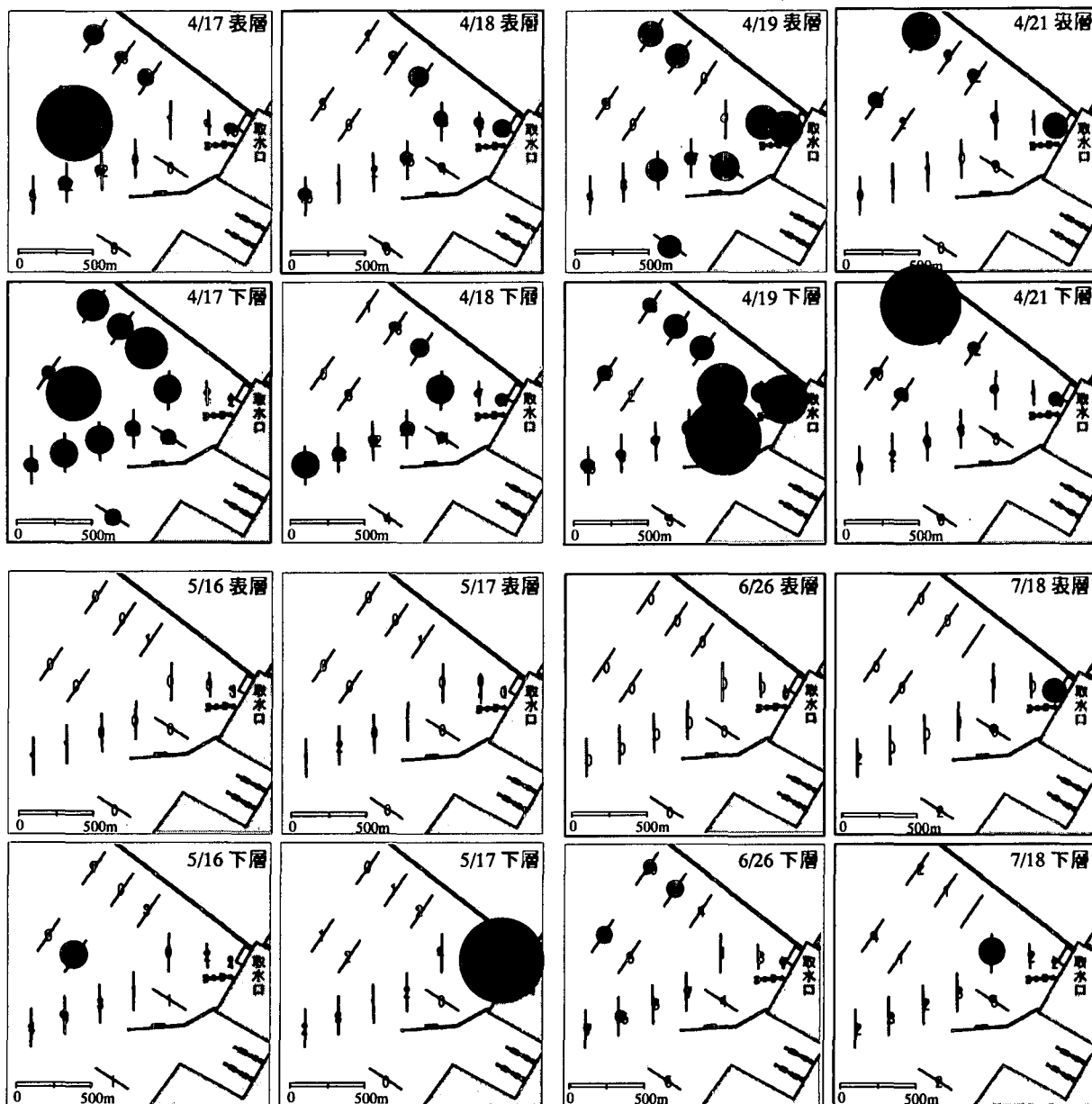


図-9 採集されたクラゲの個体数の平面分布

採集された時である。約500個体採集された測線を核のようにして、その周囲に10~50個体前後の測線が数ラインまだらに分布した状態が特徴的で、この状態が4日ほど続いた。クラゲの分布密度は最大で2個体/ m^3 、対象海域平均で0.2個体/ m^3 程度であった。5月17日は取水口直前に集中した状態が特徴的である。取水口前に設けた長さ100mの測線で660個体が採集された。この時の1個体当たりの平均湿重量は500gと大きく、総採集湿重量で最大を記録した。分布密度は6.6個体/ m^3 となるが、200m離れた隣の測線ではほとんど採集されておらず、取水流に引き込まれ角地に集積した可能性がある。なお、この頃から表層にはほとんどミズクラゲの群は見られなくなり、6月以降は下層でも採集されることが少なくなり、図-9中の6月26日や7月18日のような分布が観察されるようになった。

4. 考察

(1) クラゲ分布の消長と物理環境

現地調査期間中における名古屋港の気象は兩年とも平年並みであり、調査開始後しばらくの間は採集量が多いものの、6月に断続的な降水が続いて以降ミズクラゲの採集量は激減した。安田¹⁾は浦底湾、東京湾、浜名湖の事例やミズクラゲの傘運動の実験結果などから、我が国におけるミズクラゲの活動の最適な水温範囲として20℃以上30℃未満であると指摘している。塩分についても31.4~33.6(psu)で分布頻度が高いことを指摘している。今回の調査でクラゲの採集量が減り始めたのは、下層の水温が約20℃で塩分は32(psu)の時であった。つまり、塩分は最適範囲内であり、水温にいたってはいいよよ活動が活発になろうとする値である。ここでは、この不整合について考える。

2カ年の調査から断続的な降雨との関係が推察されるが、図-4を見ても明瞭な関係を見いだすことは難しい。図-10は平成12年4~6月の水温・塩分の月平均値とその標準偏差の鉛直分布を示す。これを見ると表層の塩分は月が進む毎に低下して成層を強めていることが分かる。また塩分の標準偏差も月が進む毎に表層ほど大きくなっていることが分かる。この塩分の鉛直分布の変化は、雨が断続的に降るようになったことが直接の原因である。水温は全層で昇温しているため成層を強める働きは小さいが、その標準偏差は月が進む毎に大きくなる傾向である。

ミズクラゲには比重調整能力があるため塩分に対しても広い適応能力があるとされているが、同時に生息環境と同一密度となるためには3~4時間必要といわれており、河川の出水にともなう急激な密度の変化が発生した場合には、表層の淡水の密度に自身を調整するよりも、元の塩分に近い下層に沈降または下降を余儀なくされるとされている。これを考慮すると、今回の調査結果の中で、塩分成層が弱く、その変動も小さい4月に、表層でもクラゲが採取さ

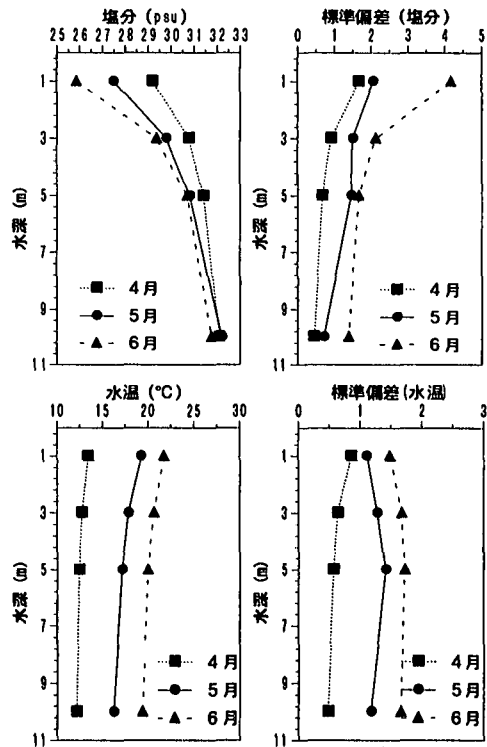


図-10 水温・塩分鉛直分布

れたことが理解できる。5月以降、塩分成層が徐々に強くなり、表層ではその変動も大きくなるため、表層はミズクラゲにとってあまり好ましい環境ではなくなり、もっぱら下層に分布するようになると思われる。一方、密度成層が成立する湾内では、通常、下層流入、上層流出の鉛直循環（エスチュアリー循環）が形成されている。エスチュアリー循環は表層への淡水供給によってその鉛直循環を強めることから、出水は表層ばかりでなく、下層の流動にも大きく影響する。つまり6月の多量の降雨は下層の流動を変化させ、そこに分布するミズクラゲを何処かへと輸送したのではないかと考えられる。ここで示した水温・塩分の特徴は、木曾三川等から多量の淡水供給を受ける伊勢湾奥部海域の常態である²⁾。このように考えると、今回の調査結果は当海域の一般的な変化をとらえているものと推察できる。

さらに想像を逞しくするならば、鉛直循環によって運ばれる先として名古屋港の奥部が挙げられる。名古屋港奥部は密度成層が強化される6月以降、底層は徐々に貧酸素化するため、ここに運ばれたクラゲたちは死滅してしまうのではないかと考えられるが、これについては今後の調査によって確認する必要がある。

(2) 群の規模の推定

今回の観測で得られたミズクラゲの諸元を表-1に示す。この諸元を使うと、例えば300tという最大のクラゲ処理量を記録した5月22日について次のようなことが推定できる。流入したクラゲの重量300tと表-1中の平均湿重量と平均密度を使うと、発電所で取水したクラゲの混在した海水量は約 $2.5 \times 10^6 \text{m}^3$ となる。当該発電所の取水流量は当時約 $100 \text{m}^3/\text{s}$ で

あったのでクラゲの流入は約7時間継続したことになる。これは現場の経験と一致している。また、クラゲが下層4mの幅で分布すると仮定するとクラゲの群は直径900m程度の規模を持っていたことが推定される。これも観測経験から違和感のない数値である。

表－1　観測されたミズクラゲの諸元

項　目	値	備　考
平均傘径	220mm	5月以降の平均
平均傘厚	37mm	//
平均湿重量	580g	//
平均密度	0.2個体/m ³	多量採集時
最大密度	6.6個体/m ³	//
取水口前滞留時間	3～4日	

5. まとめ

- 1) 平成11年、12年ともに雨が断続的に降るようになった以降ミズクラゲがほとんど採取できなくなった。
- 2) ミズクラゲの採集量が多い日は3,4日続くが、その後ほとんど採れなくなるというパターンを数回経験した。
- 3) ミズクラゲの採集量は下層でのものがほとんどであったが、観測を開始した4月には表層でも採集されることがあった。
- 4) 採集されたクラゲの大きさは4月初旬からの1ヶ月間で平均傘径が1.5倍、湿重量が約2倍に大きくなったが、6月以降はそれ以上に大きくなる傾向は無く、平均で傘径230mm、湿重量500g程度に安定していた。
- 5) ミズクラゲの大きさの平均値は他海域と同等であったが、傘径300mm、湿重量1kgを越える大きなクラゲも多数存在したことが特徴的であった。

- 6) 既往研究に見られるように当海域でも、ミズクラゲの傘径と湿重量の間には指数関数的な関係があり、傘径と傘厚の関係は直線的であった。
- 7) 採集量が多かったときのミズクラゲの平均分布密度は0.2個体/m³程度であり、その中に2個体/m³程度の密度の高い核が直径200m程の大きさで存在した。
- 8) ミズクラゲの比重調整能力を考慮すると、表層における塩分の変動が大きくなる5月以降は、ミズクラゲはもっぱら下層に分布するようになると考えられる。
- 9) 6月の多量の淡水流入にともなう下層流動の変化が、当海域でのクラゲの消失に関係があると推察される。
- 10) 今回の観測で得られたミズクラゲの諸元をもとに最大流入量を記録した時点の群の水平スケールを推定すると約900mとなった。またクラゲの流入が継続した時間は7時間と推定された。

謝辞：本研究を行うにあたり、元福井県水産試験場の安田徹先生からは調査方法をはじめとした研究全般に適切なご助言を頂きました。また、東京電力（株）東扇島火力発電所の海老沢岬氏や江ノ島水族館の植田育男氏、足立文氏からはご自身の貴重な取り組みをご教授いただき参考にさせていただきました。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

1) 安田 徹：ミズクラゲの研究，(社)日本水産資源保護協会，1988。
2) 杉山陽一・藤原建紀・中辻啓二・水鳥雅文：伊勢湾北部海域の密度成層と残差流，海岸工学論文集，第41巻，pp.291-295，1994。