

大熊海岸における温排水の拡散に関する現地観測

三村 信男*・堀川 清司**・渡辺 晃***

1. はじめに

本報文は、福島県大熊海岸に立地している東京電力福島第一原子力発電所の前面海域において、昭和54年秋2回にわたって実施した、海域の流動と温排水の拡散に関する調査の報告である。

福島県沿岸は、南北にほぼ直線的に伸びた約130 kmの海岸線を有し、大陸棚が発達して海岸付近では1/250程度のゆるやかな勾配をなしている。また、前面は太平洋に面しており、外海の海況特性が海岸付近に直接影響を与える開放性の海岸である。この福島県下の海岸には、福島第一原子力発電所の他に4か所の原子力および火力発電所が建設中または計画中であり、将来沿岸海域への温水排出源がかなり高密度に分布することになる。また、1か所の発電所からの温排水量も大規模になり、福島第一原子力発電所の計画最大排出量は、 $270.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (1～6号機合計) に達している。このように温排水が大規模化、複数化した場合、隣接した発電所からの排水の相互干渉が生じる、あるいは、巨大な温水塊が形成されて沿岸域に滞留する等の可能性がある。さらに、温水塊の存在が恒常化すれば、沿岸の微気象や魚貝類をはじめ生物環境に種々の影響を与える可能性も生じてこよう。

こうした温排水の影響を適切に評価するためには、影響範囲の予測や温排水の拡散機構の解明といった物理的側面に対する研究が必要である。この点では、従来も、基礎的な理論研究あるいは実験、現地観測等多方面から研究が進められているが、大規模化した温排水に対しては、従来の単純化された取り扱いでは不十分になると思われる。それは、大規模温排水の拡散は、大きなスケールの海域の流動場に強い影響を受けるようになり、影響範囲を予測する場合にも、こうした因子を考慮に入れなければならないと考えられるからである。

そこで、今回の現地調査では、海域の流動場と排出された温水塊の挙動の相関を調べることを主たる目的とし

て、流速と広範囲の水温分布を観測した。本報文では、観測して得られた現象を報告することを主眼に、記述を進めたい。

2. 調査項目と方法

図-1に示す海域において、昭和54年9月と12月の2回、調査を実施した。福島第一原子力発電所は、海に突き出すような形状の防波堤を有し、その南北両側基部に各々温水排出口が設置されている。また、この海域には夫沢川、熊川というつの小河川が流入している。

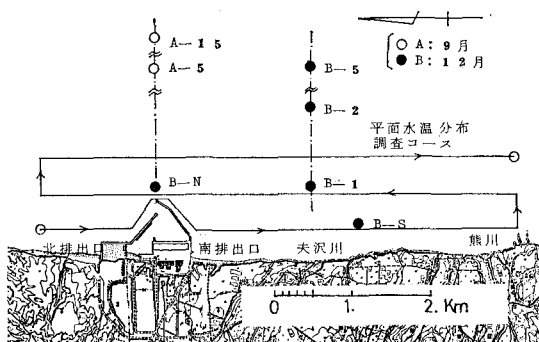


図-1 大熊海域における調査海域

9月の調査(Aとする)では、図-1中に示すように海岸線からそれぞれ5、15 kmの位置(A-5、A-15)にアンデラ型流速計を設置し、9月13日から約20日間流速観測を行なった。A-5、A-15地点は、水深が各々約20 mと約60 mあり、流速計はともに半水深の位置に設置した。一方、9月14日から16日までの3日間に、4回にわたって海域の平面水温分布を測定した。その方法は、サーミスタ温度計のセンサーを取り付けた鉄棒を測定船の船側に固定し、図-1に示すような所定のコース(南北=沿岸方向約6 km、東西=岸沖方向約1.5 km)を曳航するというものである。測定平面は、海面下0.5 mと2 mの2層とした。ただし、防波堤南側と熊川沖の2か所の海域では、海面下0.5、1、2、3 mの4層の水温分布を更に細かい間隔で測定した。また、9月16日には、曳航観測とほぼ同時刻に、航空機からの熱赤外スキャンニングによる表面水温分布測定も行なった。さら

* 正会員 工 博 東京大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工 博 東京大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工 博 東京大学助教授 工学部土木工学科

に、平面水温分布観測と併せて、岸沖方向に3測線を設けて水温の鉛直分布を測定した。

12月の調査(Bとする)では、岸沖方向に1, 2, 5 kmの位置、更に南側排出口を大きく包むような配置で合計5台のアンデラ型流速計を設置し、12月11日から16日まで5日間の流況観測を行なった。これらの測定点を、それぞれB-1, 2, 5, N, Sとして図-1に示す。流速計の設置水深は全て海面下2mとした。また、12月12日から15日までの4日間に、サーミスタ温度計を曳航する9月の調査と同様の方法で、5回にわたって水温の平面分布を測定した。これに加えて、12月の調査ではB-Nの地点に自記式11層のサーミスタチェーンを併置し、海面下0.5mから10mまでの鉛直水温分布の時間変化を観測した。

以上の観測項目を一覧表にして、表-1に示す。

表-1 調査項目一覧表

調査項目	9 月	12 月
流 況	A-5, 15 9/13~10/3	B-1, 2, 5, N, S 12/11~12/16 ただし、B-4は前半欠測
平面水温分布	CASE-A1 9/14 Noon CASE-A2 9/15 AM CASE-A3 9/15 PM CASE-A4 9/16 AM	CASE-B1 12/12 AM CASE-B2 12/13 AM CASE-B3 12/14 AM CASE-B4 12/14 PM CASE-B5 12/15 AM
鉛直水温分布	平面水温分布の調査時に同時に測定	サーミスタチェーン (B-N) 12/11~12/16

3. 流況の観測結果

観測結果の最初に、流況の特徴を述べる。図-2は、9月の調査において観測されたA-5地点における流速、流向、および南北・東西2方向に分離した流速の記録である。この時期に、当海域では、平均すれば25 cm/s程

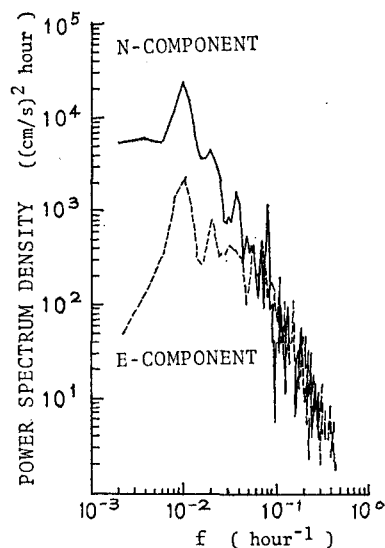


図-3 流速のスペクトル(9月)

度の流速が存在しており、流向としては、南北方向流が卓越していたことがわかる。

この記録において最も特徴的なことは、南北流が矩形波的な転流をくり返していることである。20日間の観測期間中に20回の転流があり、北流の最長継続時間は2.3日、平均継続時間は0.9日であり、南流では各々3.4日と1.4日であった。図-3に、南北流、東西流の流速のスペクトルを示すが、この図においても潮汐の周期の他に4.3日、2.1日といった周期にピークが現われており、数日周期の転流現象の卓越性を裏づけている。

次に、図-4に12月の調査において観測されたB-1, 2, 5, N各地点の南北流成分の記録を示す。観測が6日間という短期間であるため統計的解析には供しえないが、定性的には特徴が見出される。この時期にも明瞭な

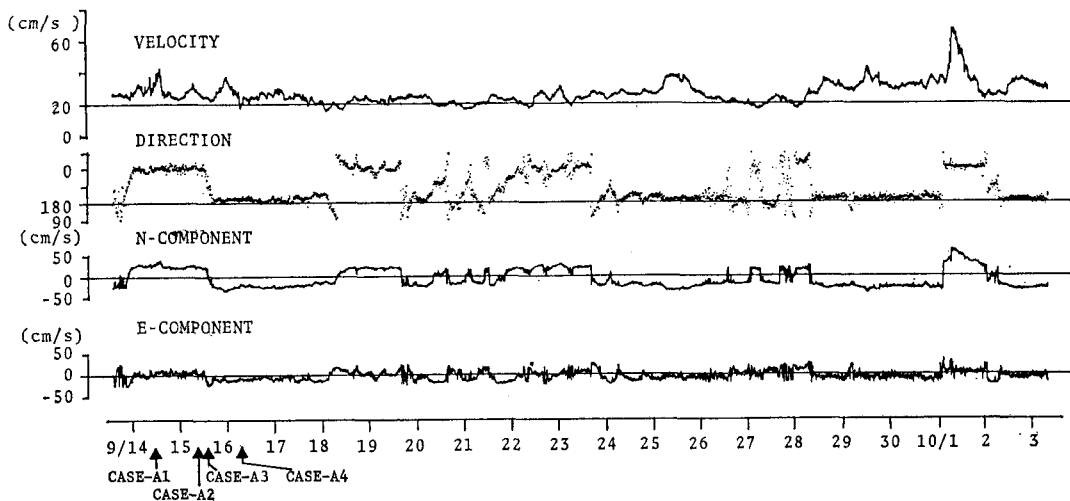


図-2 海域の流況(9月)

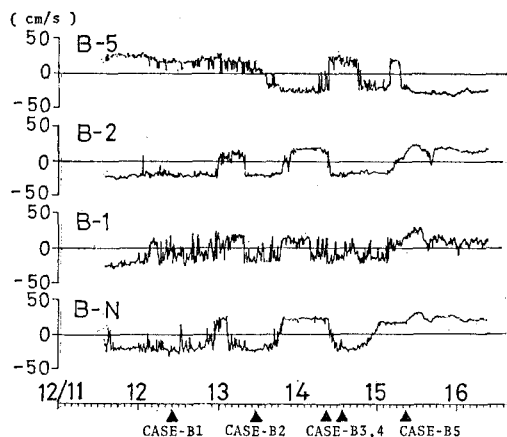


図-4 海域の流況 (12 月)

転流がみられるが、流速記録のパターンは沖合い (B-5, 2) と岸近く (B-1, N) とでかなり似ており、この流動が少なくとも沿岸の幅 5 km 以上に及ぶかなりスケールの大きなものであることがわかる。

福島沿岸海域においてこのような交番をつくり返す南北流が存在することは、ここ数年間に沿岸の他地点において実施された流況調査でも観測され、福島沿岸海域の流動場を特徴づけるものとして確認されつつある¹⁾。中村は、こうした観測結果から、図-5 のように転流周期の月別変化をまとめている²⁾。

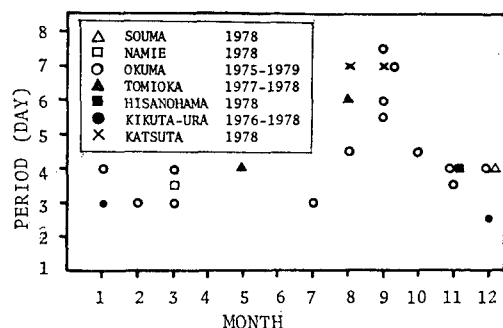


図-5 転流周期の月別変化

4. 水温分布の観測結果

(1) 温水の排出量と排出水温

水温分布調査の境界条件を明確にする意味で、南北両排出口から放出される温水の排出量と排出水温を 表-2

表-2 調査時における温排水の放流量と排出水温

		放流量 (m^3/s)	排出水温 ($^{\circ}\text{C}$)	周囲水の水溫 ($^{\circ}\text{C}$)
9 月	南排出口	144	27.1	20.5
	北排出口	112	25.5	
12 月	南排出口	118	19.1	14.6
	北排出口	112	23.1	

に示す。排出水温は時々刻々変動するものであるが、表には目安として、東京電力株式会社から提供されたデータを平均した値を示した。また環境水温を明確に決定することは困難なので、そのかわりに観測された表層水温の最低値を示した。

(2) 平面水温分布

次に、平面水温分布の観測結果を示す。図-6 は 9 月の調査、図-7 は 12 月の調査で得られた海面下 0.5 m 層の平面水温分布である。これらの図をみると、第一に、種々のパターンはあるものの、大規模な温水塊が形成され、その影響は調査海域のほぼ全域に及んでいることがわかる。特に、岸沖方向には 1.5 km の測線をこえて更に沖側に広がっている。

第二に特徴的なことは、大局的な温水塊の広がり、南北流の交差的出現に対応した 2 つのパターンとその遷移パターンに大別されることである。9 月、12 月の流況

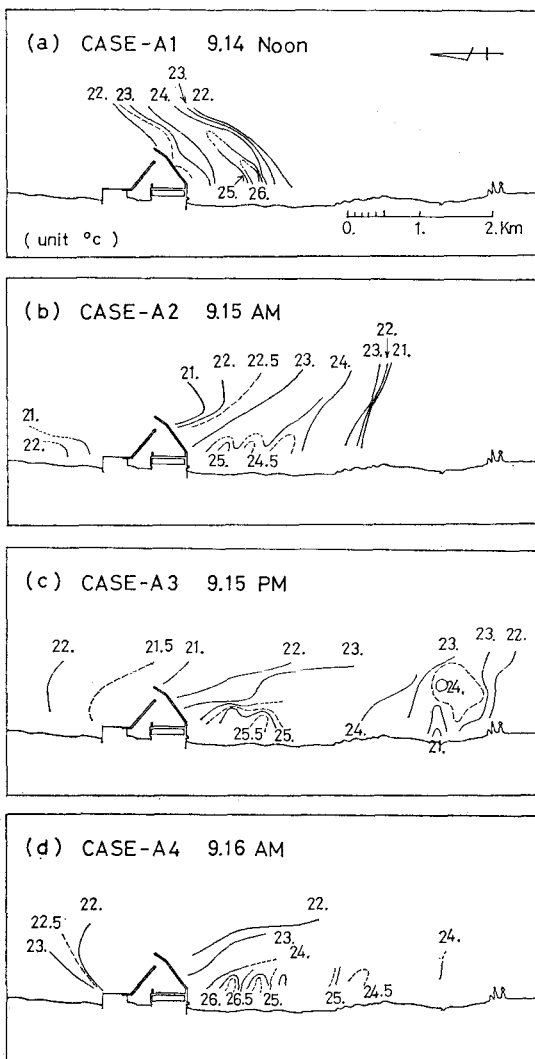


図-6 平面水温分布 (9 月, 海面下 0.5 m 層)

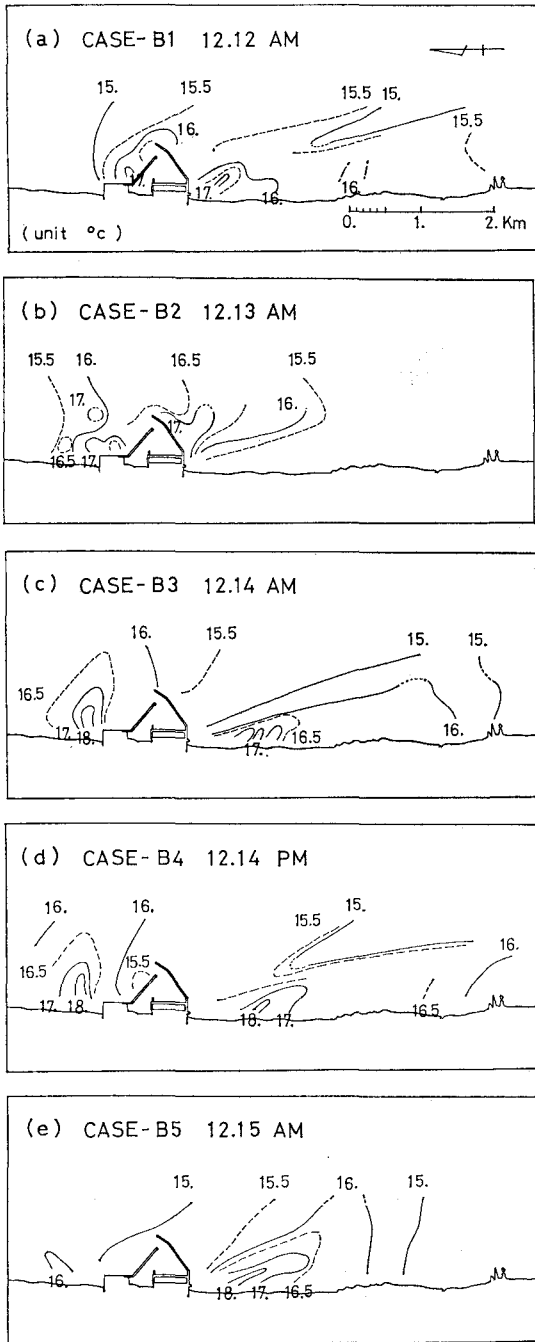


図-7 平面水温分布 (12月, 海面下 0.5 m 層)

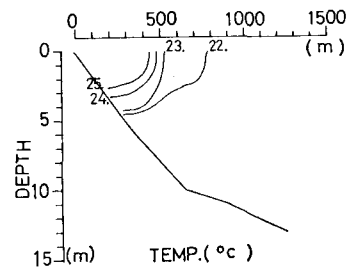
を示す図-2, 4の中に, 平面水温分布を観測した時点を示しておいた。これをみると, 9月の調査では, CASE-A1は安定した北流時にあっており, 南北排水口から放出された温水は, 一旦南に噴出した後大きく北側に振れている。CASE-A2, A3は北流から南流への転流時の観測であり, 温水塊が吹き流されるように南進している様子がよくわかる。そして, CASE-A4は, 安定した南

流時にあっており, 南側の海岸線に沿った分布が形成されている。12月の調査では, 北側排水口の排出水温が高くその影響が著しいが, 温水塊が海域の流動に追随するという上記の傾向は明瞭である。このように, 温水排出量が大規模化した場合, 海域表層に大スケールの温水塊が形成されるが, その挙動は海域の大きな流動場に左右されるといえる。

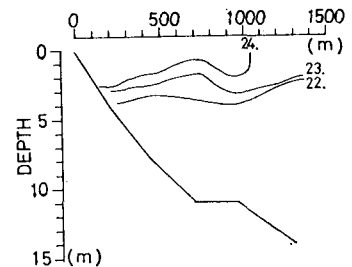
次に, サーミスタ温度計の曳航調査という調査方法の妥当性にふれておきたい。この方法では, 今回の場合, 1回の調査に2時間程度を要したが, 図-6(d)と時間的に対応する熱赤外スキャンニング影像を比べたところ, 大局的パターンに大差はなかった。したがって, この方法によって得られた平面水温分布図も相当程度信頼性があると思われる。

(3) 鉛直水温分布

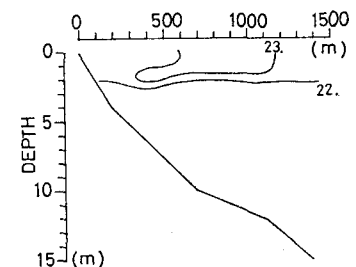
9月の調査で観測した鉛直水温分布の一例を図-8に, 12月の調査で用いたサーミスタチェーンの記録を図-9に示す。図-8の鉛直水温分布は, 9月16日午前



(a) 南側排水口前面

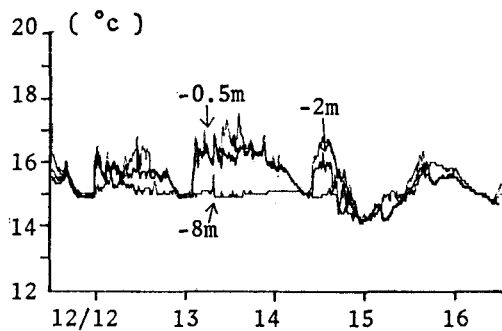


(b) 夫沢川沖



(c) 熊川沖

図-8 鉛直水温分布 (9月)

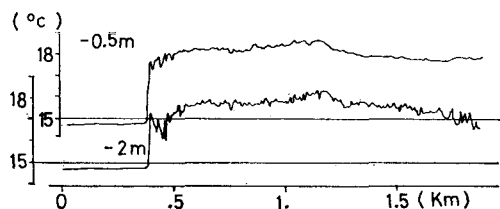


図—9 サーマスタチェーンの記録 (12月)

に測定したもので、流れは南流で、平面水温分布の図—6 (d) とほぼ時間的に対応するものである。測定断面は、南側排出口の前面 (a)、夫沢川沖 (b)、熊川沖 (c) の順に並んでいる。この図から、放出された温水が、温度を減減させながら、同時に 2~3m の厚さの薄い膜状に表層に広がっていくことがわかる。このとき、温水塊と周囲水との間には 1~2°C の水深方向の温度躍層が形成されている。こうした状況は、サーミスタチェーンの記録にも明瞭に現われている。図—9 に示したのは、海面下 0.5, 2, 8m の水温の時間変化であるが、南北流の交番に合せて、B-N 地点に南北各々の排水口からの温水塊が交互に到達して表層をおおい、海面近くの水温の急上昇がみられる。

(4) 温排水と周囲水との混合

今回の調査で観測されたもう一つの興味ある現象は、鉛直方向だけでなく水平方向にも温度躍層が形成されていたということである。図—10 に、12月14日のサーミスタ温度計曳航調査時に沖合 1.5 km の測線上で観測された海面下 0.5 m と 2 m の 2 層の水温記録の一部を示す。これからもわかる通り、実際の海域では、温水塊と周囲水との間には応々にして水温の不連続面があり、排水口から数 km 離れた地点においても 2°C に及ぶ躍層が存在している例があった。また、多くの場合、この水



図—10 水温の曳航観測記録の一例 (12月)

平方方向の躍層を連ねた線は、ゴミや泡を集めたいわゆる潮目と一致していることが観察された。

このように、海域に放出された温排水は、周囲水と区別される水塊を形成し、周囲水との混合が抑えられているようにみうけられた。

5. 結 語

福島第一原子力発電所前面海域において実施した 2 回の現地調査の結果を報告した。

福島県沿岸海域には、規則的な転流をくり返す南北流の卓越する特徴的な流動場が存在する。今回の調査においても、それが観測された。発電所から放出される温排水は、その規模が大きくなるにつれて、海面に浮ぶ大スケールの温水塊を形成する。この巨大な温水塊は、海域の流れにきわめてよく追従することが観測された。またこの水塊と周囲水との間には、水深方向だけでなく水平方向にもしばしば温度躍層が存在し、大きな温度差が維持されていた。

このように、現実の海域における温排水の挙動は単純ではなく、海域の様々な自然現象が影響を及ぼしていることをうかがわせる。特に排水が大規模化した場合、そのスケールに見合う大規模な現象が支配的因子となってくると思われるが、福島海域の南北交番流はその典型例であった。こうしたことから、温排水の影響範囲の予測においても、海域の特性を調査し、考慮に入れることが重要であろう。

今回の調査を実施するにあたり、東京電力株式会社の施設および資料を利用させていただいた。また、実際の調査では、I.N.A. 新土木研究所の桜本弘氏、神田康嗣氏、東京大学港湾研究室の野沢是幸君（現東京電力）、道正典君（現同大学院）をはじめ多くの方々の協力をいただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

最後に、本研究は文部省科学研究費環境科学特別研究「熱排水の沿岸域での滞留と人為的水塊形成」（研究代表者 東京大学理学部永田豊教授）から援助を受けたものであることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 中村義治・堀川清司・佐々木民雄・藤縄幸雄：大熊海岸における碎波帯内外の流れの特性について、第 25 回海講演集，pp. 465~469, 1978.
- 2) 福島県水産試験場：福島県沿岸域の流動特性とサケの回帰行動についての野外的研究，p. 41, 1979.