

宇田賞受賞講演

相模湾の急潮と定置網漁業防災対策に関する研究

石戸谷博範[†]

Studies on kyucho events and disaster prevention of set nets in Sagami Bay

Hironori ISHIDOYA

はじめに

相模湾の定置網漁業は、本県沿岸漁業の総漁獲量の約70%を占める基幹漁業である。その内の大型網では、資材費約5億円を要し、一度設置させると数年間はそのまま定在させるため、漁業者は波や流れによる敷設中の事故に大きな不安をもっている。とくに、急潮と呼ばれる沿岸域に突発的に発生する強流は、定置網の事故発生の大きな要因であり、毎年何処かで被害が起こり、その損失は莫大な金額に達する。

相模湾では定置網に甚大な被害をもたらすことから、急潮の存在は古くから知られており、定置網の被害を食い止めるための実態把握と予報を目的とした調査研究が精力的に行われてきた(三浦, 1932; 木村, 1942; 宇田, 1953)。日単位の海況変動を捉えるために、1960年代後半から小金井(1976)が開発した相模湾および周辺海域の各地で毎日測定されている表面水温のイソプレット解析を行うと同時に、1970年代から三浦半島先端の三崎瀬戸、平塚波浪観測塔、湾西部の早川沖の3ヵ所で水温連続観測を開始し、さらに、1977年から湾内数ヵ所に流速計を設置し、流れ・水温の連続観測を開始した。その結果、宇田(1953)が急潮の発生要因として挙げた(1)黒潮変動にともなう湾内への暖水侵入によって発生する急潮、(2)台風通過にともなう急潮の特徴、(3)内部潮汐による急潮の特徴を鮮明に捉えることができた(松山・岩田, 1977; 岩田ほか, 1990; 松山ほか, 1992; 井桁ほか, 2003)。

1985年から「一都三県漁海況速報」の作成・提供のシステムが確立され(岩田ほか, 1988)、さらに、相模湾の海況モニターのキイエリアである相模湾東部の城ヶ島沖に設置した浮魚礁ブイの水温・流れの連続観測データをリア

ルタイムで収集できるようになり、黒潮変動にともなう暖水侵入による急潮と台風・低気圧の通過にともなう急潮予報が可能になった(岩田, 1986; 岩田ほか, 1997)。

一方、急潮被害の防止に関する漁具研究の原点として、寺田ほか(1915)による「網ニ對スル水ノ抵抗ノ研究」がある。この研究を進めるに当たり数回にわたり、相模湾の定置網漁場での潮流調査が行われた(寺田, 1951)。定置網の模型実験については、寺田ほか(1915)の成果に基づき、田内森三郎が漁具の模型実験における比較則を発表し(Tauti, 1934)、それをベースに多くの研究が行われた。しかし、この段階では土俵のずれが発生する個所の順位を示したことに止まり、流速と各土俵網に作用する張力や被害の防止策については明らかにされなかった。

筆者は1990年に神奈川県水産試験場相模湾支所に配属された。当時、相模湾の定置網漁業は高齢化と度重なる急潮被害により経営が疲弊しつつあった。「あと5年もたねーよ。」と漁場の大船頭が淋しく語った。時を同じくして神奈川県は試験研究機関の再編整備を進め、相模湾支所は、長年の相模湾漁業の難問であった急潮防災に取り組むため、漁具流体力学実験用の回流水槽を導入する決定をした。本稿では、定置網漁場周辺で行った流況観測、それに基づいて進めた急潮予報、回流水槽(石戸谷, 1994)実験による急潮時の流れと定置網の関係および被害の防止策について述べる。

急潮時の流れの特徴

黒潮変動にともなう暖水侵入と台風通過にともなう急潮はいずれも水温急上昇をともない $0.5\text{--}1.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の速度で湾東部から西部にむかって反時計回りに進むことが判った。しかし、1994年以前は、定置網に被害を引き起こした時の流れを実測したことがなかった。

筆者らは、1993年11月から小田原市江之浦沖の10m深に流速計を設置し、流れと水温を10分間隔で測定を開始した。1994年1月9日の江之浦近傍の定置網(二段箱式落

¹ 神奈川県水産技術センター相模湾試験場(〒250-0021 神奈川県小田原市早川1-2-1)

Kanagawa Prefectural Fisheries Technology Center, 1-2-1 Hayakawa, Odawara, Kanagawa 250-0021, Japan

[†] ishidoya.9jm8@pref.kanagawa.jp

網)が破壊され、急潮時の流れを初めて実測した。この急潮は黒潮変動にともなう暖水侵入によるもので、最大流速は $72.4\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、流向は 187.5° であった。同日に観測された水温・塩分の各層データによると、暖水の厚みは概ね80m深まで達したこと、また、城ヶ島沖、平塚観測塔、江之浦の水温連続記録からみると、暖水は $0.6\text{--}0.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の速度で岸に沿って反時計回りに移動したとみられた(石戸谷ほか, 1995; Matsuyama et al., 1999)。

急潮時の10m深の流れを実測したが、流れの鉛直構造が残されていた。T9617号(1996年9月)の相模湾沖通過に際して起こった急潮を小田原市江之浦沖の流れの各層観測で初めて捉えることができた。台風が相模湾沖を通過した26時間後に急潮が発生した。流速の最大値は、いずれの層でも9月23日16:20に観測された。この最大時の流向・流速は、10m深で $189.9^\circ\cdot 72.94\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、35m深で $183.2^\circ\cdot 71.66\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、60m深で $184.7^\circ\cdot 80.44\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、60m深の流速が最も大きい。この急潮により江之浦近傍の定置網(一段箱式落網)が全壊した。また後急潮の実態(経過時間および鉛直構造)が明らかになり、急潮予報および漁具防災の重要なデータとなった(石戸谷, 1997)。

急潮時における定置網の挙動の解析

観測された急潮時の流れを高精度の回流水槽により再現し、力学的相似律(田内の漁具模型実験比較則)に基づいて作成した定置網模型を用いて、その流水抵抗の増加機構について検討した。

図1は、流速と定置網の挙動を示したものであり、流速の増加にともない、定置網が潮上側の部位から徐々に沈下を始めることがよく分かる。漁具被害が発生した急潮時の流速である $0.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ では、潮上側の矢引台浮子は約34m沈下し、その錨綱は直線的に張っている。側張は魚取部より潮下側を残してすべて沈下する。運動場から第一箱網までは吹かれると同時に、網地が集密して潮揚げが妨げられる。上流側と下流側の台浮子の沈下量の差によって生じる側張の傾斜が最大となり、網地が集密した登網や第一箱網に浮子の上から強流が妨げられずに流入している。また、それらの個所を越えてきた強流が第二箱網の最も細目である魚取部に流れるため、この部分は潮を受けて膨んだ状態を示し、大きな流水抵抗が発生する。

各部網の撤去による張力削減

急潮予報に対する現場における被害防止対策として、付着生物の成長が速い時期には、付着物による流水抵抗値は、10–20日後に数倍にも増大するため、付着生物などの汚れの除去が効果的である。また、定置網漁業者が、急潮警報の発令に対して緊急に実行できる防災対策としては、定置網各部の撤去作業が挙げられる。図2は各部網の撤去による網成りを示したものである。

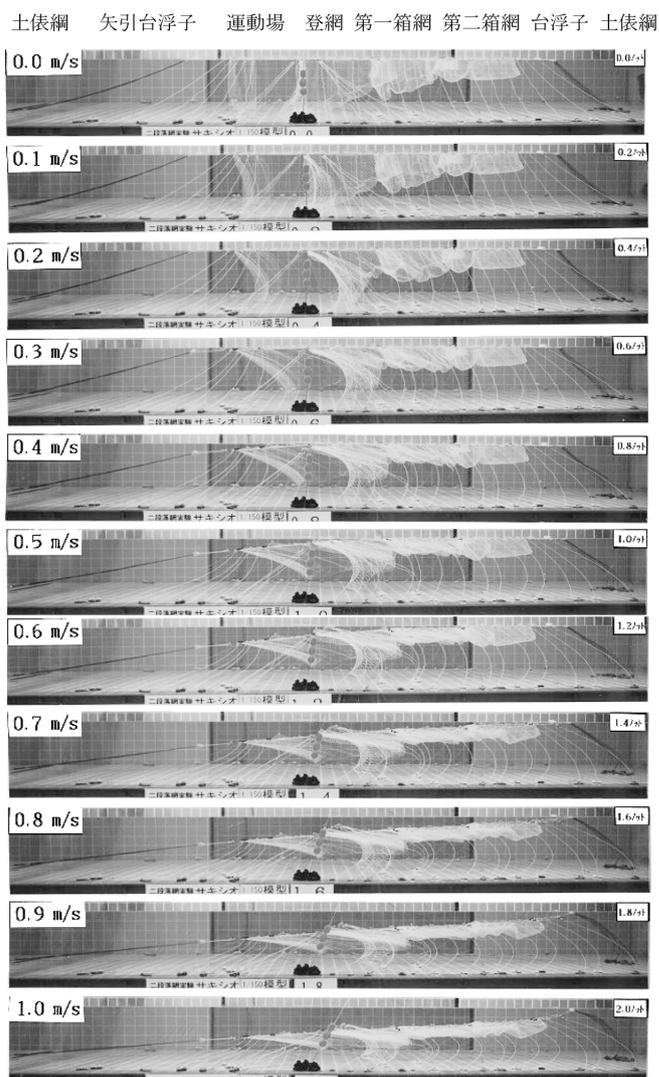


図1. 流速と定置網の網成りの関係(相模湾試験場回流水槽実験)。

急潮時に対応する $0.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の時には、網を撤去しない場合、矢引台浮子を下方とした側張の傾斜沈下により運動場から第二箱網に至る全ての網が抵抗を受けている。最も下流に位置する第二箱網の魚取部は、強流により太く膨らんでいる。運動場を撤去すると、側張傾斜がやや少なくなり、登網、第一および第二箱網の厚みが減少するようになる。登網を撤去した場合、第一および第二箱網の厚みがさらに減少する。第一箱網を撤去した場合、第一箱網を抜いた部分を直接に流れが通過して第二箱網の底網を吹き上げるためにさらに薄くなる。第二箱網を撤去すると、網成りは網を撤去しない場合に良く似た形状を示す。

以上のことから、上流部の網を撤去すると、その隙間を通過する強流が下流部の網の厚みを減少させることになる。したがって、上流部の網を撤去することが、流れに対

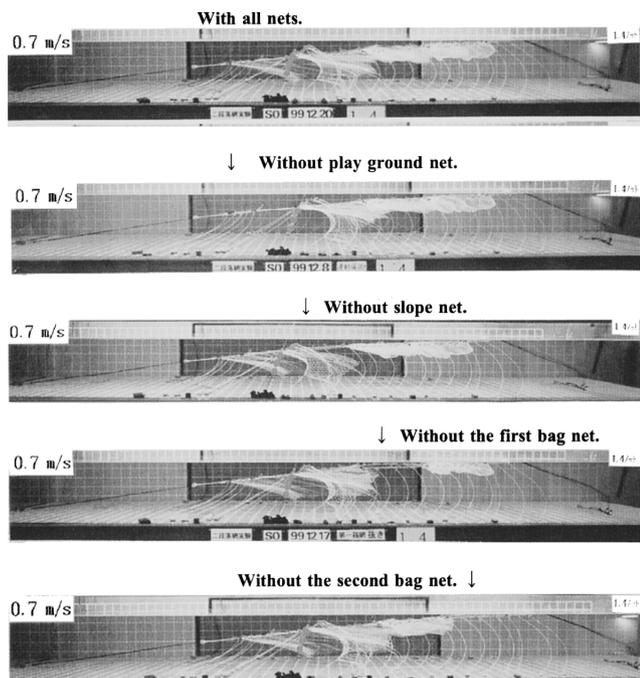


図2. 網撤去箇所と網成りの関係（相模湾試験場回流水槽実験）。

する網の全抵抗をさらに減ずることになり、防災対策に効果的であると考えられる。

網の各部分を撤去した場合、流速に対する矢引台渡網の張力変化が防災対策上の問題点としてあげられる。流速に対する張力の変化（図3）をみると、各部の網の撤去に関わりなく酷似している。特に運動場、第二箱網を撤去した場合の張力は、同一の変化を示す。流速 $0.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下では変化は小さく、加速度的に増大している。 $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上になると、変化は大きく、しかも直線的に増大している。全網を備えた場合に対する各部の網を撤去した場合の張力を比較すると、第一箱網を撤去した場合が最も小さく、次いで登網を撤去した場合であり、最後に運動場、第二箱網の2網を撤去した場合がほぼ等しい状態で続いている。このことから、網撤去による張力削減は、第一箱網が最も大きく、次いで登網となり、第一箱網の撤去が被害防止対策に最も有効である。

撤去作業が最も短時間で完了する部分は第二箱網の約2時間、次いで第一箱網の約3時間、登網の約3.5時間、運動場の約4時間の順である。3時間以上の作業時間が確保できる場合には第一箱網の撤去が最も有効である。しかし、時間制限が3時間未満の場合には第二箱網を撤去し、張力の削減を図るとともに、漁獲物入網による抵抗の増加を併せて避けることも有効な対策と考えられる（石戸谷，2001）。

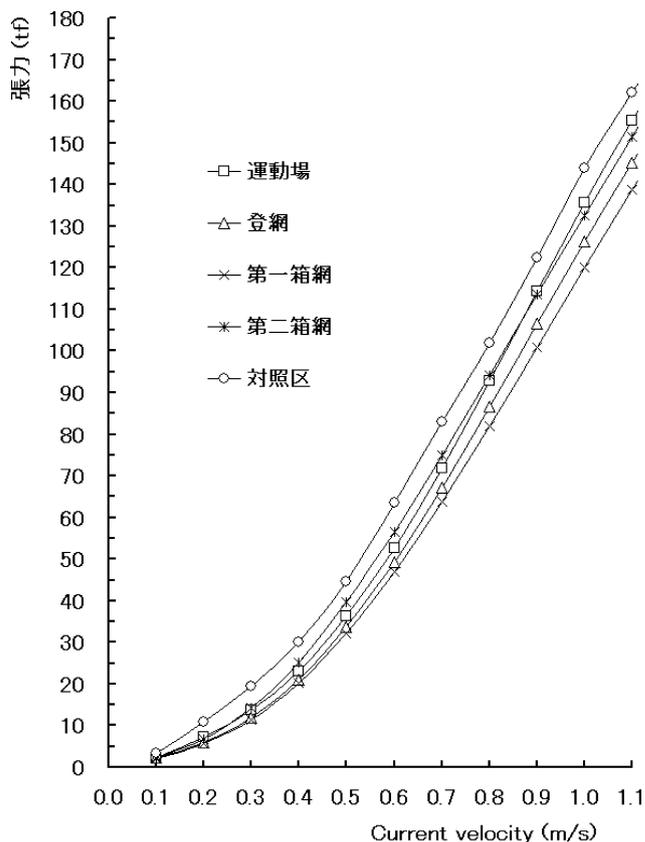


図3. 網の撤去位置と張力の関係。

関連した調査研究活動

- ・西湘地区定置網活性化事業

相模湾の定置網漁業は昭和20年代のブリ定置全盛期を経て、現在はアジサバ定置網が中心である。度重なる急潮被害により、平成6年ごろより本県の定置網経営は非常に厳しい状態に陥った。そこで1998年（平成10年）に小田原市漁業協同組合を主体に小田原市、神奈川県との協力の下に急潮対策等を盛り込んだモデル定置網を展開した。その結果、漁獲量の向上と急潮被害の減少等、定置網経営の安定を機軸とする一定の成果が得られつつある（石戸谷，1998）。

- ・関東・東海海域における沿岸海況の短期予報研究

急潮予報システムの開発を千葉県-和歌山県と協力して行った。沿岸における観測体制を整え、急潮発生時の海況パターン、急潮伝播特性を解明し、急潮の予報システムの開発を行った（石戸谷ほか，2006; 2008）。

- ・全国の定置網防災への応用

定置網の急潮被害は相模湾のみの現象ではない。宇田道隆先生の著書「海と漁の伝承」に記された日本全国における急潮による定置網漁具被害の状況を中心に、その後の情報を加え整理した結果を図4に示す。宇田先生の時代より北海道から九州の各地で定置網の被害が見られていること

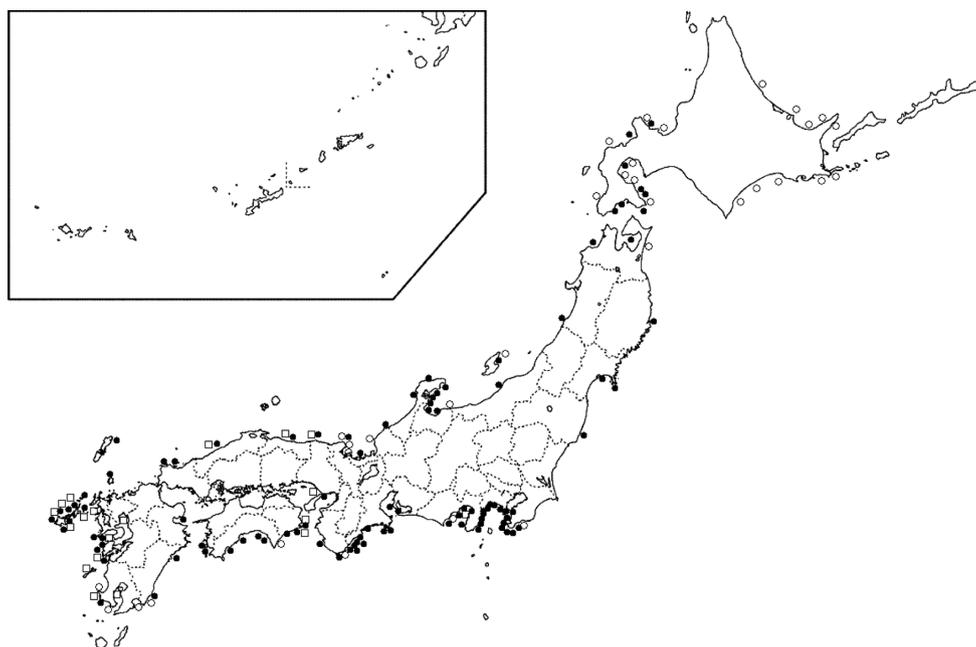


図4. 日本全国における急潮による定置網等の被害発生海域. 急潮被害：●宇田（1984），○石戸谷調査.
アビキ（潮汐副振動）：□宇田（1984）ほか.

が分かる。特に最近では、従来、比較的被害の少なかった北海道地区においても、強い勢力を維持したまま台風や低気圧が北上するケースが増加した結果、大被害が見られるようになってきている。また、アビキ（潮汐副振動）により急潮が発生し漁具が流出する現象も見られている。このような中であって取り組んだ研究として「日本海中部海域における急潮予測の精度向上と定置網防災策の確立」がある。日本海中部海域沿岸の定置網は、日本海を通過する台風後の急潮により被害が続出し、経営の危機に瀕した。この被害を軽減するために、急潮予測技術の向上に加えて流れに強い漁具開発（網規模別の側張り強度設計や各部網撤去の効果測定）を新潟県～京都府と協力して行った（京都府立海洋センターほか，2009）。本研究の成果が普及し、漁具被害が根絶されることを願っている。

まとめ

本研究で明らかにした定置網が破壊される時の急潮の現場における流動特性と流水抵抗の増加機構から、急潮被害の防止策は、図5のように整理することができる（石戸谷，2001; 2002; 2004）。

急潮時には台浮子の錨綱に張力が集中するので、台浮子の浮力増加、抵抗や沈降力の削減などにより側張りの水平化（投影面積の減少）を図り、抵抗の増大を防ぐ。さらに、各部の網地は漁獲を損なうことなく、大目合化を図り、錨綱の張力を削減する。

日常の網の管理と急潮予報に対応する緊急対策として、

網・側張りの付着生物などの汚れを除去し、目詰まりと増重に伴う抵抗の増大を防止するとともに、張力が集中する台錨綱の固定状況を定期的に点検する。また、黒潮の接近や台風通過に伴う急潮予報が行われている。急潮警報が発せられてから1-2日後に定置網に急潮が到達する。この間に、まず箱網や運動場を撤去して網自体の破網防止と抵抗削減を図る。台風が房総半島沖を北上した場合、半日-1日後に急潮が発生する可能性があるため、台風通過時に箱網が撤去できなかった場合でも、漁獲物はできる限り速やかに水揚げする。また、撤去した網は台風通過後の2日以上後に設置することなどが急潮に対する定置網被害防止対策として重要であると考えられる。今後は、中底層網や猪口網の防災対策を明らかにするとともに、設置海域の海洋構造の違いに伴う資材疲労の特性を把握することで、総合的な定置網防災管理システムの構築へと発展させたいと考えている（石戸谷，2005）。

急潮対策研究の成果

これまで得られた急潮予報に関わる各種情報や知見と流れに対する定置網の挙動に関する研究成果を基に、定置漁業者が防災対策の網抜きなどを行う際の参考となるように急潮警報や定置網安全対策情報（図6）を発信し、現場で活用されている。

その結果、急潮被害による休業日数と被害金額の減少をこの研究の成果が現れ始めた1998年前後で比較すると、1985-1997年まででは、休業日数130日/年、被害金額

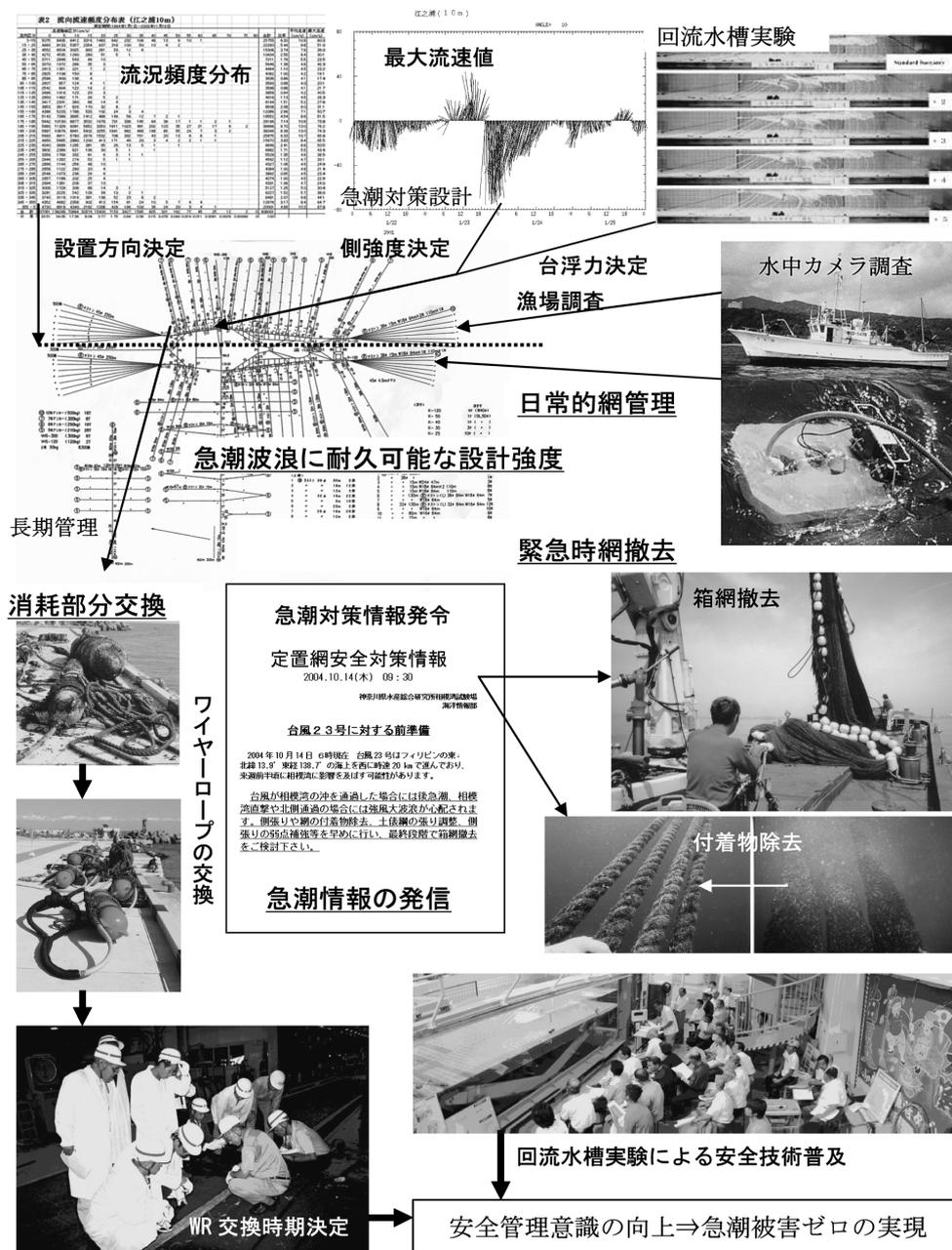


図5. 定置網の急潮被害防除策.

16,637万円／年であったが、1998年以降では99日／年(24%減)、7,836万円／年(53%減)に減少し、直接の経済効果が現れている(石戸谷, 2007; 2009)。

現在、本県の定置網は、漁具強度の適正化や防災対策の徹底により、全損被害がほとんど見られなくなった。各漁場には若手の従事者が増え、網の管理も十分に行えるようになり、また、殺菌冷海水で魚の品質向上を図るなど、総合的な経営向上が進んでいる。嘗て聞いた「あと5年ももたねーよ。」という悲痛な声は、「生活の懸かっている網を

大事にしよう。」という、前を向いた明るい声に変わってきたと感じている。

おわりに
今回の名誉な受賞を機に現場の仕事を振り返ってみると、厳しい状況にあった相模湾の定置網漁業が急潮や諸々の環境を乗り越えて行く取り組みとともに、歩んできたように思う。「海と漁師に学ぶ。」と宇田道隆先生は仰られていたと聞く。その現場を大切にされた真摯な姿勢は著書「海と

定置網安全対策情報

2009/10/4(日) 09:30

神奈川県水産技術センター相模湾試験場
資源環境部

静岡県水産技術研究所伊豆分場

非常に強い台風18号の動きにご注意下さい。

非常に強い台風18号は、4日午前6時現在、マリアナ諸島(北緯16.6° 東経143.0°)の海上を西へ25km/hで進行中です。中心気圧925hPa、最大風速50m/s、最大瞬間風速70m/s、暴風半径(25m/s以上)150km、強風半径(15m/s以上)北東側440km 南西側330kmです。予報では、8日(木)~9日(金)にかけて関東の沖を通過する見込みです。今後、沖合からのうねりに警戒するとともに、台風が直撃した場合の波浪と急潮、また、相模湾から房総半島沖を通過した場合の北寄りの強風による後急潮に十分ご注意ください。**台浮子の土俵網の点検、垣網留めの固定状況の確認、汚れた箱網等の撤去など安全対策をご検討ください。**

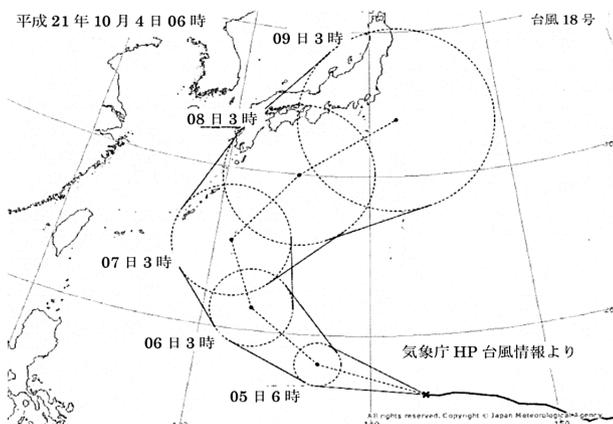


図6. 定置網安全対策情報。

漁の伝承」(宇田, 1984)等から学ぶことができる。宇田先生は、高校生の時(1923年)に陸上競技部に属し、中距離の800mと1500mで全国1位の成績を残されている(旧制第二高等学校陸上競技部六如会事務局 小野寺純雄氏調べ)。

私も嘗て湘南高校陸上競技部に属し(1972年)、800mと1500mを走っていた(私は全国14位)。記録は800m=2分12秒0(宇田)、1分59秒4(石戸谷)、1500m=4分38秒2(宇田)、4分17秒9(石戸谷)である。宇田先生が、日本全国の海や漁について、現場の漁業者の方々と深く語り合い、丹念に調べられた熱意と体力には、この若い時代の鍛錬も一役買っていたのではないかと考える。全国1位の宇田先生には遠く及ばないが、少しでもそのお心を学びたいと思う。

太平洋戦争中、3度の軍務に就かれた宇田先生は、広島で被爆、負傷された。その中であって、「将来は世界各国の人びとが必ず協力して、一つの目標に進むようになるであろう。世界の人々に優良な海産物を充分与えるようにしたい。それにより生活をより健やかに、より明るくしたい。そこまで行くのには今後どれだけ多くの人びとが真剣な努

力を払わなければならないであろうか。その尊さを私達は思わなくてはならぬ。」(宇田, 1983)とされています。本記念講演の開催地であります被爆地長崎において、犠牲になられた多くの人びとの霊安かれと祈りつつ、水産海洋学の成果が、水産食料の安定供給を通じて、国際平和に貢献することを願い、2008年度宇田賞受賞記念講演の終章とさせていただきます。

宇田先生始め多くの諸先生、先輩方、現場の貴重な真実の姿をご教示いただいております漁業者の皆様、共に汗を流していただいた各分野の共同研究者の皆様にご心より深く感謝申し上げます。

引用文献

- 井桁庸介・北出裕二郎・松山優治(2003)台風8818号通過に伴い発生した相模湾の急潮に関する数値実験。海の研究, 12, 603-617.
- 石戸谷博範(1994)神奈川県水産試験場相模湾試験場の新設水産工学用実験回流水槽の基本設計と機能について。神奈川県水産試験場研究報告, 15, 41-53.
- 石戸谷博範(1997)急潮の海況特性と落とし網の防災設計。ていち, 91, 1-14.
- 石戸谷博範(1998)わが国における定置網漁業の課題とモデル網の回流水槽実験。水産海洋研究, 62, 381-385.
- 石戸谷博範(2001)漁具物理学, 定置漁具の災害とその防止策。成山堂書店, 186-207.
- 石戸谷博範(2001)相模湾における急潮と定置網の防災に関する研究。神奈川県水産総合研究所論文集, 第1集, 1-108.
- 石戸谷博範(2002)急潮に対する定置網被害防止対策について。水産海洋研究, 66, 181-184.
- 石戸谷博範(2004)海流と生物資源, 急潮に伴う定置網の流出・破網に対する防災。成山堂書店, 85-93.
- 石戸谷博範(2007)基幹漁業である定置網漁業の課題と今後の方向。水産海洋研究, 71, 239-243.
- 石戸谷博範(2009)急潮・巨大波浪に対する防災対策。水産海洋研究, 73, 247-249.
- 石戸谷博範・長谷川雅俊・岩田静夫・松山優治・井桁庸介(2008)相模湾及び周辺海域の急潮のモニタリングと予報。水産海洋研究, 72, 207-215.
- 石戸谷博範・岩田静夫・松山優治(1995)1994年1月9日に起った急潮現象と定置網の挙動。水産海洋研究, 59, 190-196.
- 石戸谷博範・北出裕次郎・松山優治・岩田静夫・石井光寛・井桁庸介(2006)黒潮小蛇行に伴い相模湾および東京湾湾口に発生した急潮。海の研究, 15, 235-247.
- 石戸谷博範・高橋征人(2005)定置網の新技术と将来展望—相模湾における定置網防災技術等の実践と経営向上—。水産海洋研究, 69, 224-227.
- 岩田静夫(1986)相模湾の海況の短期変動に関する研究。神奈川県水産試験場論文集, 第3集, 1-66.
- 岩田静夫・河尻正博・斉藤盛致・江川紳一郎・清水利厚(1988)一都三県漁海況速報の発行について。水産海洋研究, 52, 271-277.
- 岩田静夫・松山優治・前田明夫(1990)相模湾の急潮(2)。神奈川県水産試験場研究報告, 11, 11-15.
- 岩田静夫・渡部 勲・石戸谷博範・清水顕太郎(1997)城ヶ島沖ブイによる表層流の特徴。神奈川県水産総合研究所研究報告, 2, 7-12.
- 木村喜之助(1942)沿岸の大急潮について。中央気象台彙集, 19, 1-85.

- 小金井正一 (1976) 海の見方・考え方—地方水域の周辺—, 公害原論自主講座第9学期, 1-63.
- 京都府立海洋センター・新潟県水産海洋研究所・富山県農林水産総合技術センター水産研究所・石川県水産総合センター・福井県水産試験場・神奈川県水産技術センター相模湾試験場・東京海洋大学海洋科学部・九州大学応用力学研究所・(独)水産総合研究センター日本海区水産研究所 (2009) 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「日本海における急潮予測の精度向上と定置網防災策の確立」研究成果報告書, 131 pp.
- Matsuyama, M., H. Ishidoya, S. Iwata, Y. Kitade and H. Nagamatsu (1999) Kyucho induced by intrusion of Kuroshio water in Sagami Bay, Japan. *Cont. Shelf Res.*, **19**, 1564-1575.
- 松山優治・岩田静夫 (1977) 相模湾の急潮について(1)—1975年に起こった急潮, 水産海洋研究会報, **30**, 1-7.
- 松山優治・岩田静夫・前田明夫・鈴木 亨 (1992) 相模湾の急潮, 沿岸海洋研究ノート, **30**, 4-15.
- 三浦定之助 (1932) 大謀の流出に関する研究. 定置漁業界, **15**, 4-41.
- Tauti, M. (1934) A relation between experiments on model and full scale of fishing nets. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **3**, 171-177.
- 寺田寅彦 (1951) 寺田寅彦全集12. 岩波書店, 東京, 2-14.
- 寺田寅彦・関根磯吉・野崎知之 (1915) 網ニ對スル水ノ抵抗ノ研究. 第一次報告. 水産講習所試験報告, **10**, 1-23.
- 宇田道隆 (1953) 相模湾の急潮とその予知について (第1報). 日本海洋学会誌, **9**, 15-22.
- 宇田道隆 (1983) 海と魚. 築地書館, 東京, 190 pp.
- 宇田道隆 (1984) 海と漁の伝承. 玉川大学出版部, 東京, 392 pp.