

大型タンカーの衝突災害に関する実験的研究

翁長 一彦*・土屋 正之**・田中 邦彦*
桐谷 伸夫*・宮田 修**・金子 俊男**

An Experimental Study of Collision Distress on Large oil Tankers

By

Kazuhiko OHNAGA, Masayuki TSUCHIYA

Kunihiko TANAKA, Nobuo KIRIYA

Osamu MIYATA, and Toshio KANEKO

Abstract

This paper presents a report of model experiments on collision, oil diffusion and the fire of large oil tankers. The scale of the collision distress of actual large oil tankers is not able to estimate. For the purpose of simulating collision distress and of making clear the situation of the fire of tankers, the experiments were carried out by using scale models of free floating ship on a pool.

The typical situation of the oil diffusion and the fire at collision of tankers were well simulated, and the dramatically realistic photographs and VTR of the experiments were obtained. Combustion time and fired area of oil on the water surface varied by the time between the collision and the fire ignited. The combustion rate of oil film on the water surface was about two times of the value that was obtained by large scale experiment at open sea. Strength of the radiation from the flames correlated reasonably the scale of flame and the distance to the measuring point.

From the results of the study, the scale effects of the fire were clear and the scale of collision distress was able to estimate.

1. まえがき

引火性の危険物を積載したタンカーが衝突した場合には、大量の油流出を惹起し、多くの場合に火災が発生する。このような災害はタンカーが大型である程その規模も大きなものとなるが、具体的、数量的に規模を推定することは殆んど不可能に近い。

本報告は、このようなタンカー衝突による災害規模を模型実験によって想定する手法を検討したものである。災害規模を具体的に表現するとすれば、流出油の拡散範囲（形状、長さ、面積、船体との相対距離等）、

流出した油による海面火災の範囲（前記と同じ）、海面火災の燃焼継続時間、タンカー内部の火災継続時間、燃焼タンクの数と容量、船体の損傷の度合、等が考えられる。一般的に災害規模を表わすものとしては、人員の死傷者数もある。

上記のような災害の規模、大きさを表わす物理量は災害発生後の時間の関数であり、主要な燃焼物である油量が有限な値である限り、いずれは終息するものである。しかし実際の海難事故においては、時間経過に伴う災害規模の変化を推測することが出来ず、といって自然に鎮火するのを待つ訳にもいかない。

言う迄もなく、このような災害の現象に影響する要素はあまりにも多く、それらが互いに複雑に絡み合っており、そして確率的要素に支配される部分が多いため、災害規模を想定することが難しい、と考えられ

*システム技術部

**装備部

原稿受付：昭和61年9月5日

る。本報告で述べる実験においては、以上の前提の下に、実物規模では実施不可能な災害想定実験を模型船を用いて行ったものであり、以前に実施した模型による船舶衝突実験¹⁾の延長線上にあるものである。

複雑多岐にわたる影響要因を整理し単純化したモデル実験ではなく、総合的に災害の規模または様相を把握する実験であるため、計測よりも画像情報に基づく観測を主とし、解析的であるよりは全体的な現象の把握に努める、との方針を旨とした。

2. 研究の方針

模型実験によること、衝突から油の流出、火災という一連の現象を続けて再現すること、油の拡散の防止や消火のような人為的抑制措置は採らず、なりゆきにまかせた自然の現象を把握すること、等を研究の基本的姿勢とした。

このような方針により、模型的規模ではあるがタンカー衝突時の災害状況を観測し、実際の場合の災害規模を推定することが本研究のねらいである。海面火災の発展過程やその範囲、船体の損傷状況等を観察することにより、船員の脱出が可能なタイミング、脱出場所等を想定することが出来、また火災の消長等から有効な消火対策の示唆が得られるものと考えられる。

実際の衝突の場合においては、衝突時の船体の相対位置、速度、等は全く一定せず、衝突により生じる破口の位置、大きさ、油流出速度等の推定も不可能に近い。従って一連の現象は殆んど確率的要素に支配されると考えられる。しかし、模型実験においてこれを統計的に扱うとすれば膨大な実験回数が必要であり、また得られた結果は実際の事故例の統計的資料よりも有意義であるとは思われない。従って本模型実験においては、ごく基本的なパラメーターのみを定めて典型的な災害事故を再現することに止め、実際の災害を想定できる実験的シミュレーションの手法を確立することを目的とした。また、油流出や火災の発展過程において、予想もしないような現象が生じるか否かを観察することも目的の一つである。

3. 実験方法

実験の内容及び計測項目は、船体衝突、油流出、及び火災の3部に大別される。衝突による船体の挙動に関してはすでに詳細な実験が行われているため¹²⁾、本実験では油流出と火災の現象の観察と測定に重点をおいた。また油流出と拡散状況については、本実験よりもさらに小規模の模型実験を行い³⁾、本実験の準備と(2)

した。さらに油の流出量、着火方法等に万全を期し、実験を安全に実施できるように予備実験を行った。

使用した水槽は長さ25m、幅15m、深さ1.5~3.0mのもので、そのほぼ中央上部に高さ20mの観測用プラットフォームを持つ塔が付属している。水槽は屋外にあるため、実験の安全をも考慮してなるべく無風に近い時期、時間を選定して実験を実施した。実験システムを図-1に示し、各実験内容の実施方法と計測事項等を以下に述べる。

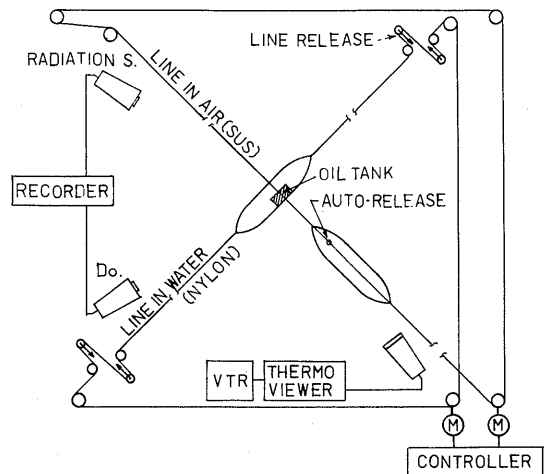


図-1 実験システム

3.1 衝突実験

水槽で2隻の模型船を衝突させる方法として、細いロープで模型船を曳航する方法を採用した。すなわち水面上の一定高さにモーターで駆動される曳航索（sus 1mm径）を設け、衝突船はその索で曳航された後切離されて惰力航行により被衝突船に衝突する。一方、水面下に展張した索（比重ほぼ1の合成繊維索）により被衝突船の位置を設定し、衝突される直前に水中索の両端をゆるめる事により船体の自由運動が可能となるものである。

この実験方法はすでに確立されており¹²⁾、今回は衝突に続く油流出と火災の実験のために耐火性の模型船を用意した。両模型船は同型であり、表-1に示すとおり20万D.W.T.型タンカーの約1/200の縮尺模型であり、何回もの火災実験に使用できるよう船体は鋼製とした。

被衝突船の中央右舷側には容量3lの油タンクを設け、また衝突船の船首には水平に回転可能な磁石板を

表-1 模型船要目

LPP	(m)	1.500
B	(m)	0.2332
D	(m)	0.140
d	(m)	0.0929
C _B		0.84
▽	(m ³)	0.0388
ℓ _{CB}	(%)	-3.4

設け、衝突後これが被衝突船の舷側に接着して両船は一体となって運動する。これは実際の衝突後の船体運動を模擬したものであり、従来の方法と同様である。

船体の運動は観測塔上に設けた各種カメラで撮影するだけとし、特に座標位置の検出を行わなかったが、これは従来の実験により衝突条件とその後の船体運動との関係が既知であるとしたためである。

3.2 油流出実験

被衝突船の中央部右舷の油タンク位置吃水線上には油流出口を設け、着脱可能なフタを取付けた。一方、衝突船々首の吃水線付近には突き棒を設け、衝突時にはこの突き棒が油流出口のフタを外して油を流出させるようにした。

油流出口は直径40mmでその中心を吃水線上に設け、フタはスポンジ製のパッキングにより水密性を保持した。油タンク内には水と燃焼用油(ノルマルヘプタン)とを入れ、水量の調節により油面高さを一定とした。流出の初期には水頭による自然流出が生じ、その後は比重差により外部の水との置換作用で流出する。流出油の拡散状況は観測塔上のカメラによりよく観察記録することが出来た。

船体の衝突によりこの油流出口を開放させるため、衝突位置の精度確保と両船の吃水調整にはかなり微妙な技術を要したが、模型船曳航装置の利点と熟練とにより解決した。

3.3 火災実験

流出した油を燃焼させるための着火源とその操作性について検討した結果、最も原始的ではあるが確実な方法として、油を含浸させた不燃性の灯芯の裸火を用いた。この着火炎を衝突船の曳航索にとりつけ、その取付位置と索の駆動操作とにより、衝突後の任意の時刻に着火することが可能であった。これも曳航装置の利点であり、ガスの拡散状態により直ちに着火しない

時は、索の前後移動または振動を与えることにより容易に着火できた。

火災の状況は観測塔上のカメラを始め、地上カメラでも記録し、さらに3台の輻射計を用いて燃焼炎から発する輻射量を連続測定した。船体の温度測定のために、船体各部に最高温度を指示するサーモラベルを貼付し、また走査形赤外線温度計(サーモグラフィ)を用いて被衝突船々体の温度を連続記録した。

3.4 実験の条件

船体の衝突に関しては、衝突角度、衝突位置、及び衝突時の速度が主なパラメーターとなるが、衝突以降に続く油流出と火災を典型的な条件とするため、衝突角度は直角とし、衝突位置は被衝突船の中央とした。衝突位置は即ち油流出口の位置であり、これを変化させることは油タンクの構造上から難しい、との理由にもよる。衝突速度は以後の船体運動と油拡散状況に影響があるが、火災を重視する上からは大きな要素とは考えられず、参考として計測する程度とした。

油の流出と拡散に関しては、油量と流出速度がパラメーターとなる。しかし、典型的な大規模災害を想定するためには流出速度を調節する必要はないと考え、流出口の寸法と初期のタンク内水頭は一定値とし、油量を1ℓ及び2ℓの2ケースとした。

火災に関するパラメーターは着火の時期だけと考えられた。他に燃焼用油の種類の問題もあるが、本実験の範囲では殆んど意味がないと考え、取扱い容易な油種としてノルマルヘプタンを使用した。

実験時の水温、気温、風向、風速は実験の全般にわたって大きな影響を及ぼすと考えられたが、如何ともし難く、実験の安全性も考慮してなるべく無風に近い時を選ぶようにした。

4. 実験に対する観察結果

計5回の実験の観測結果から得られた一般的な事項はほぼ次のとおりに要約出来る。但し、このような記述による表現よりも、画像に基づいた印象の方がより価値があると考え、その代表的な記録写真を写真1~8に示した。しかしそれでも、VTRによる動的画像に較べればその現実味は半減するものである。

1) 先づ、衝突により生じた流出油は、衝突点の流出口を中心として同心円状に流出し、衝突船の両側にほぼ対称な形で拡散する場合が多かった。これは直角衝突であり、両船体で制約される油流出水面の形状が同等なため、予想したとおりである。

2) しかし場合によっては、衝突船の両舷に沿った

方向に突出した舌状の油面が観察された。これは衝突方向と逆向きの方向に大きな流出油のベクトルが生じたためと考えられ、衝突速度が大きい時にタンク内油面の水頭による運動エネルギーが影響したと思われる。

- 3) 船体に接した油面は表両張力により、船体に付着して拡散しやすいように見える。このため被衝突船の船首、船尾方向への拡散速度が早くなり、同心円の油面は徐々に階円形に近づく。また衝突船の両舷に付着した帯状の油面も観察された。
- 4) 油面先端が被衝突船の船首または船尾付近に到達すると、油面は直ちに反対舷側へと廻り込み始めて同心円的な拡散は終り、舷側に沿って反対舷側へと拡散する流れが主力となるように思われる。

このような状況はシミュレーション計算³⁴⁾でも認められているが、衝突による船体運動と誘起される水流、及び船体付加水の動きが複雑に影響するものと考えられる。

- 5) 油流出後の時間経過と共に、反対舷側の水面へ拡散する油量が増大し、船体がほとんど停止した後も拡散油面は反対舷側へと移動しつづける。このため、衝突舷側の拡散油面は減少し、反対舷側の油面が増大し、数分も経過すると拡散油面は両船の船体を離れて反対舷よりもさらに遠い自由水面へと移行する。

この現象は衝突による船体運動とそれにより誘起される水の流れによると考えられるが、一方では風の影響と水槽の形状や初期状態の水流の有無も関係すると推定され、一般的な現象と迥は言えない面がある。

- 6) 拡散油面へは容易に着火できたが、着火可能な領域は予想外に狭い範囲であった。つまり、着火用火災が拡散油面の近傍に近づいただけでは着火せず、炎が油面先端の直上に達しない限り火災は生じなかった。
- 7) 着火した途端に火は油面全体に拡がる。この燃焼拡大の速さは正に一瞬の間という形容どおりであり、極めて衝撃的であった。
- 8) 火災の前半期においては拡散油面の全面で燃焼が行われ、その輪郭はあまり変化しない。油が流出中で拡散面が拡大している時に着火しても、その時点で輪郭がほぼ一定となり、燃焼しながらさらに拡散を続けることはなかった。

しかし、炎の高さや動き方、人体で感じる放射

熱等から、火勢が急速に強まり、燃焼速度が増大していくことが認められた。

- 9) 火勢が強まるにつれて、火炎は燃焼油面の内側へ強く吸い寄せられるようにして上昇し、激しいつむじ風を伴う螺旋状の炎が生じることも観測された。
- 10) 燃焼面の周辺部火炎面には細かい凹凸が生じ、例えて言えばリアス式海岸線の如き形状を呈した。そのすぐ外側には、燃焼残滓と思われる灰色の浮遊物が包絡線状に残るのが観測された。
- 11) 火災の後半期に入ると燃焼面は減少し始め、このとき燃焼面の中央部分から火炎が消滅する。従って、燃焼の周辺部が円弧状あるいは環礁状に残存し、分断して船体とは離れた個所で燃焼しつづけ、やがて消滅する。これは、油が流出と拡散を行うときの運動エネルギーにより、油面周辺部の油膜が厚く、燃焼に時間を要するためと考えられる。
- 12) 船体に接する部分でもやはり燃焼が続き、特に流出口に近い被衝突船の舷側、及び衝突船の船首近傍の両舷に沿って水面燃焼が行われる。
- 13) 被衝突船の流出口近傍の火炎は最後まで残り、流出する油が水面で燃焼するのか、タンク内の油の燃焼する火炎の吹出しなのか、判然としない期間が続く。特に、衝突から着火までの時間が短く、油が十分に流出する時間がない場合には、流出口近傍で長時間にわたり火炎が残存し、その間に炎の消長も観察された。
- 14) 被衝突船のタンク内部の火災、または漏洩した油による船内の火災が最後まで継続する。流出口からの吹出し火炎が認められなくても、船体内面に付着した油が燃焼し続け、このタンク内火災または船内火災の終息時刻を観測することは困難であった。

以上を要約すると、衝突、油流出、火災という一連の現象は本実験で極めてリアルに再現された、と考えられる。

船舶からの油流出に関する資料は極めて少ないが、本実験による流出初期の状態はシミュレーション計算とほぼ等しく、同心円状の拡散を行い、やがて被衝突船の船首尾を廻って反対舷側へと拡散するのが確認された。さらに流出拡散を続けると、流出油は被衝突船の反対舷側へ広く拡散し、シミュレーション計算や各種の実験結果とは異なる不規則な油面形状をなはしはじめ、航空機による油汚染事故の観測記録と酷似した様

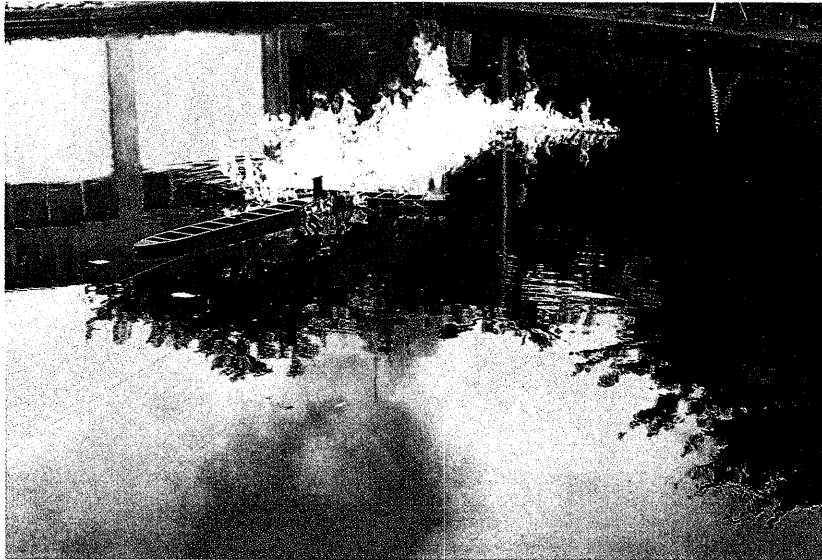
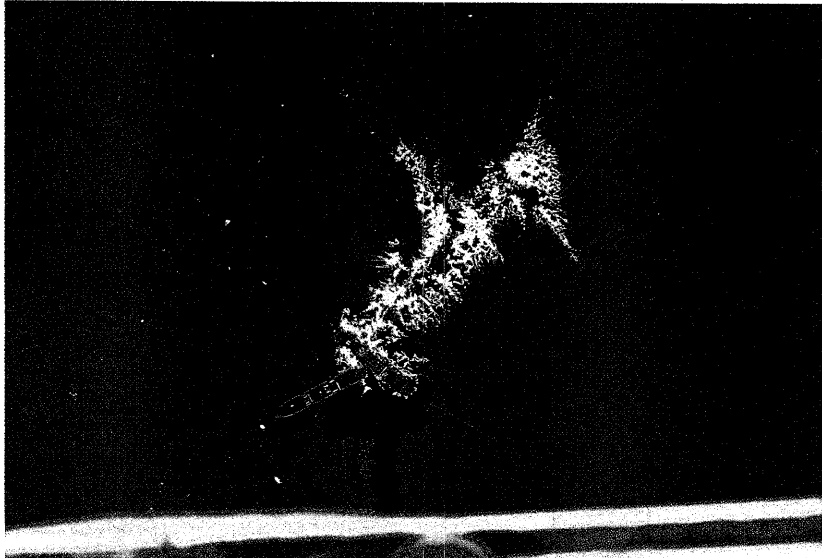


写真-1 実験番号1 (衝突油流出後4分55秒で着火,
着火後約10秒の火災最勢期)

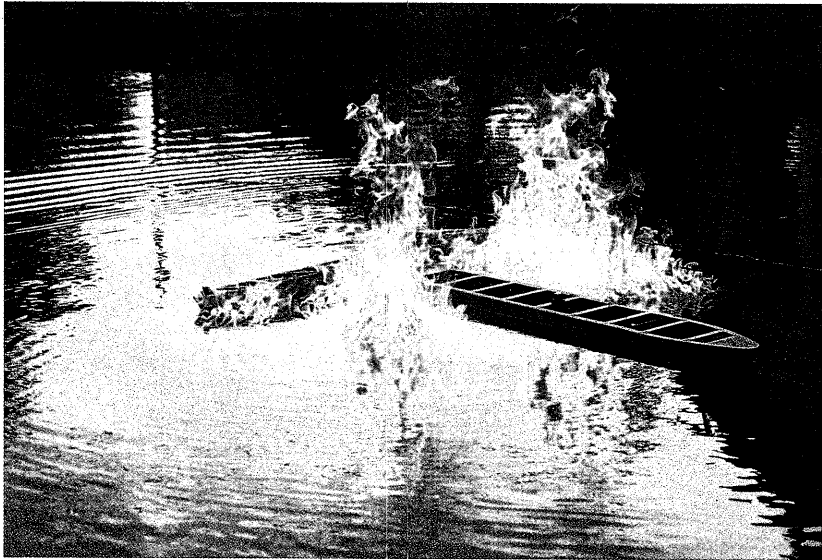
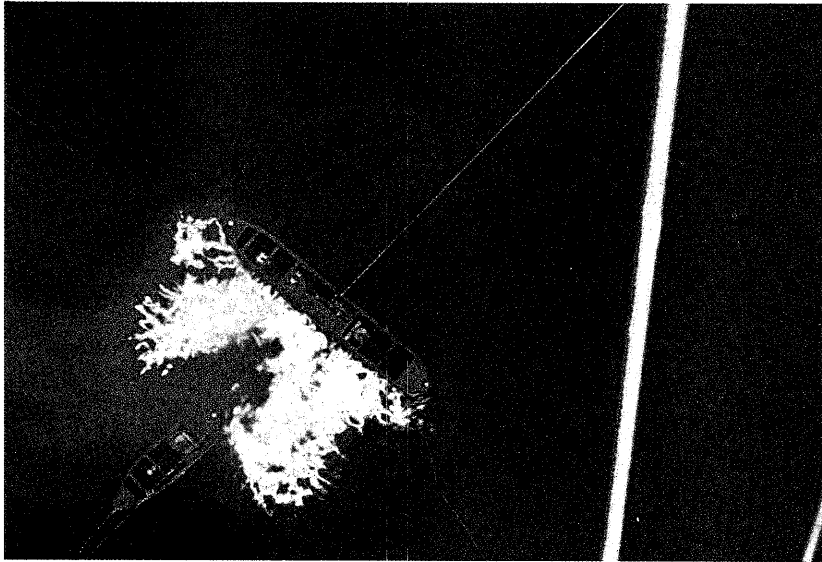


写真-2 実験番号2 (衝突と同時に着火, 着火後約10秒の状況)

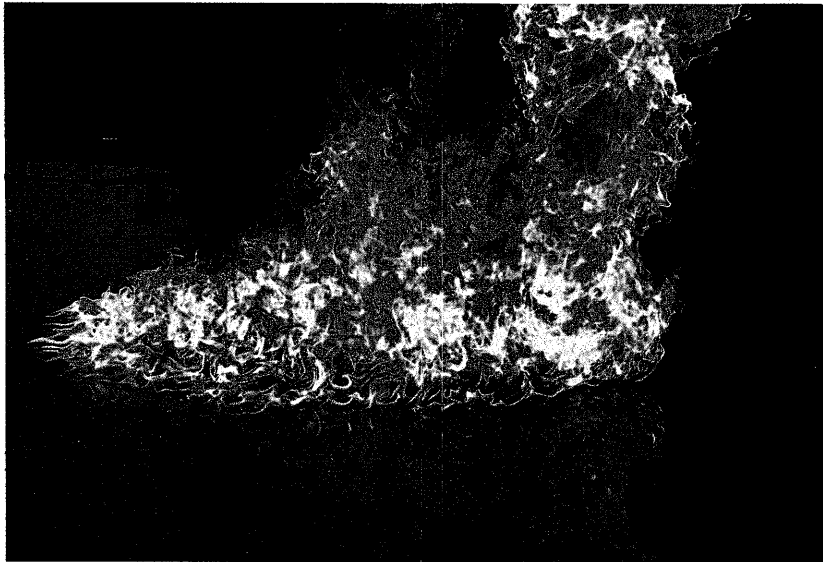
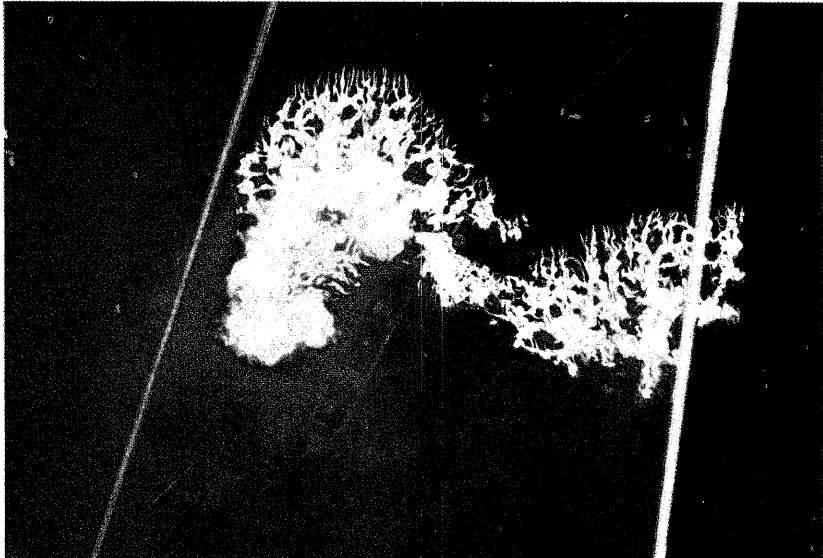


写真-3 実験番号3 (衝突油流出後64秒で着火,
着火後約10秒の状況)

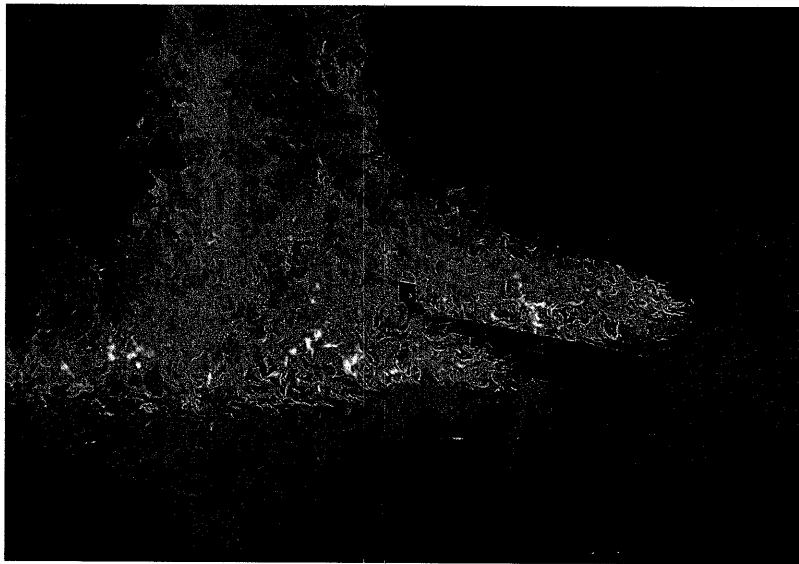
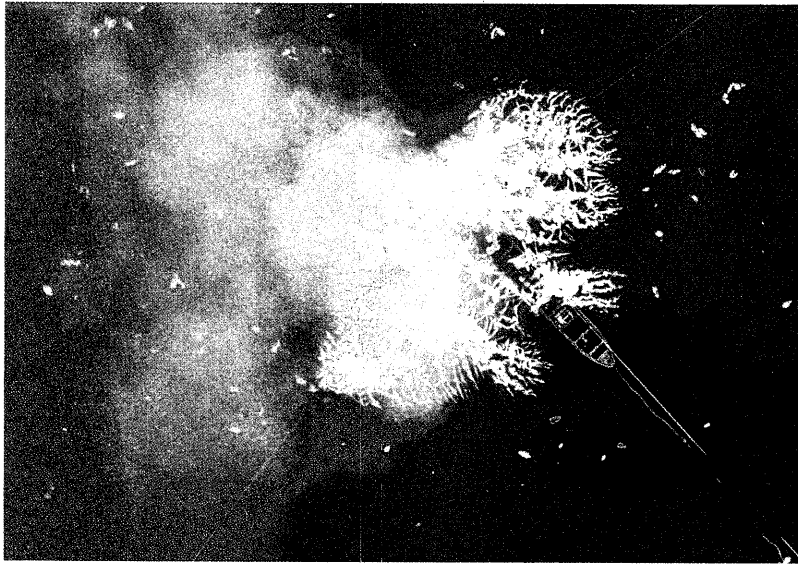


写真-4 実験番号4 (衝突油流出後35秒で着火,
着火後約15秒の火災最勢期)

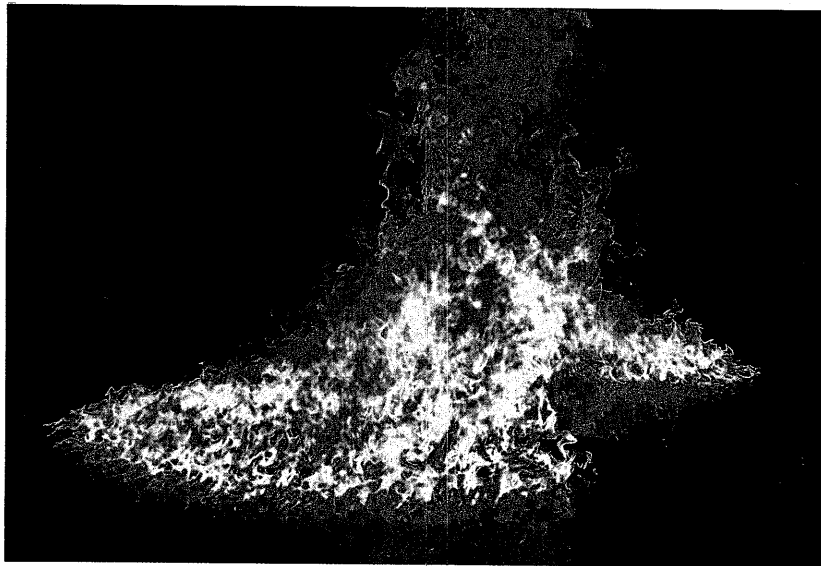
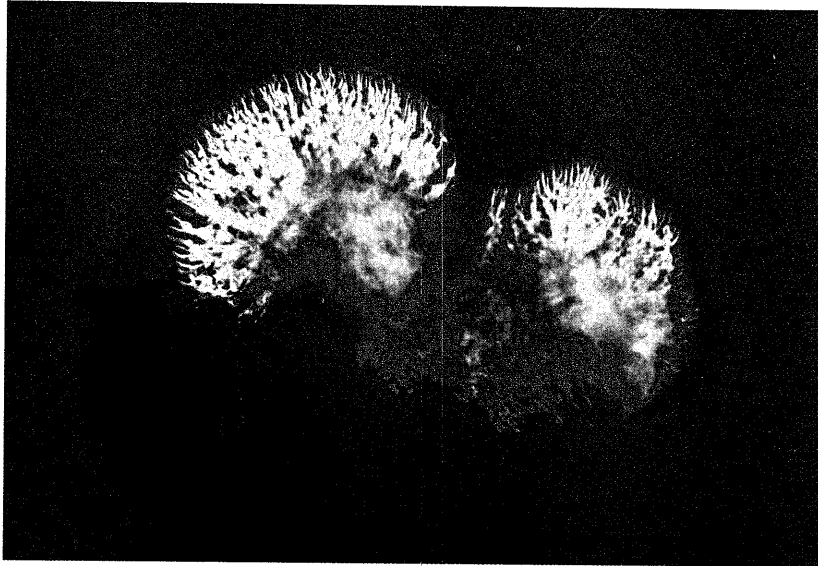


写真-5 実験番号 5 (衝突油流出後 1 分 45 秒で着火,
着火後約 10 秒の状況)

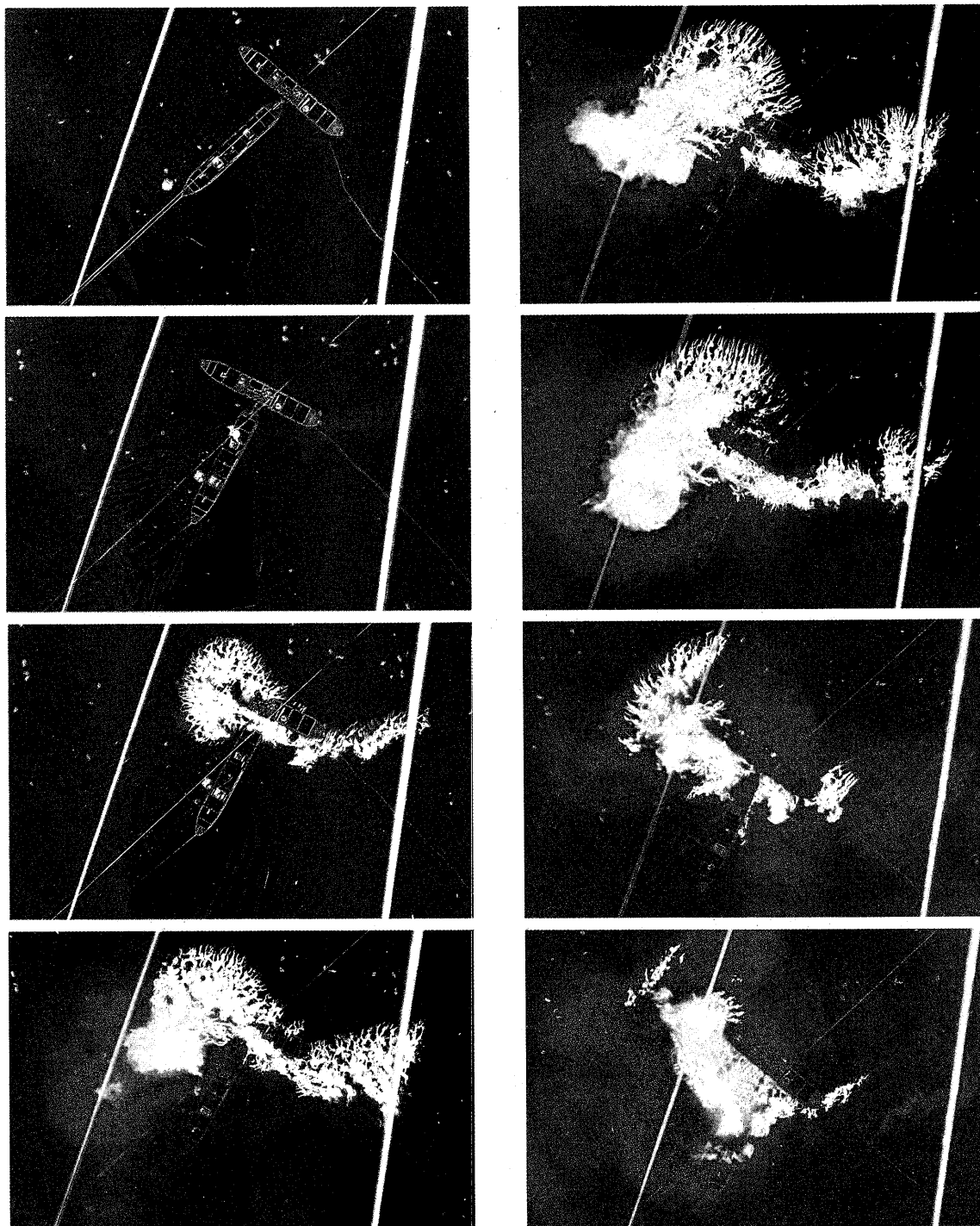


写真-6 実験番号3 (左上より下へ, 4~16秒間隔の状況)

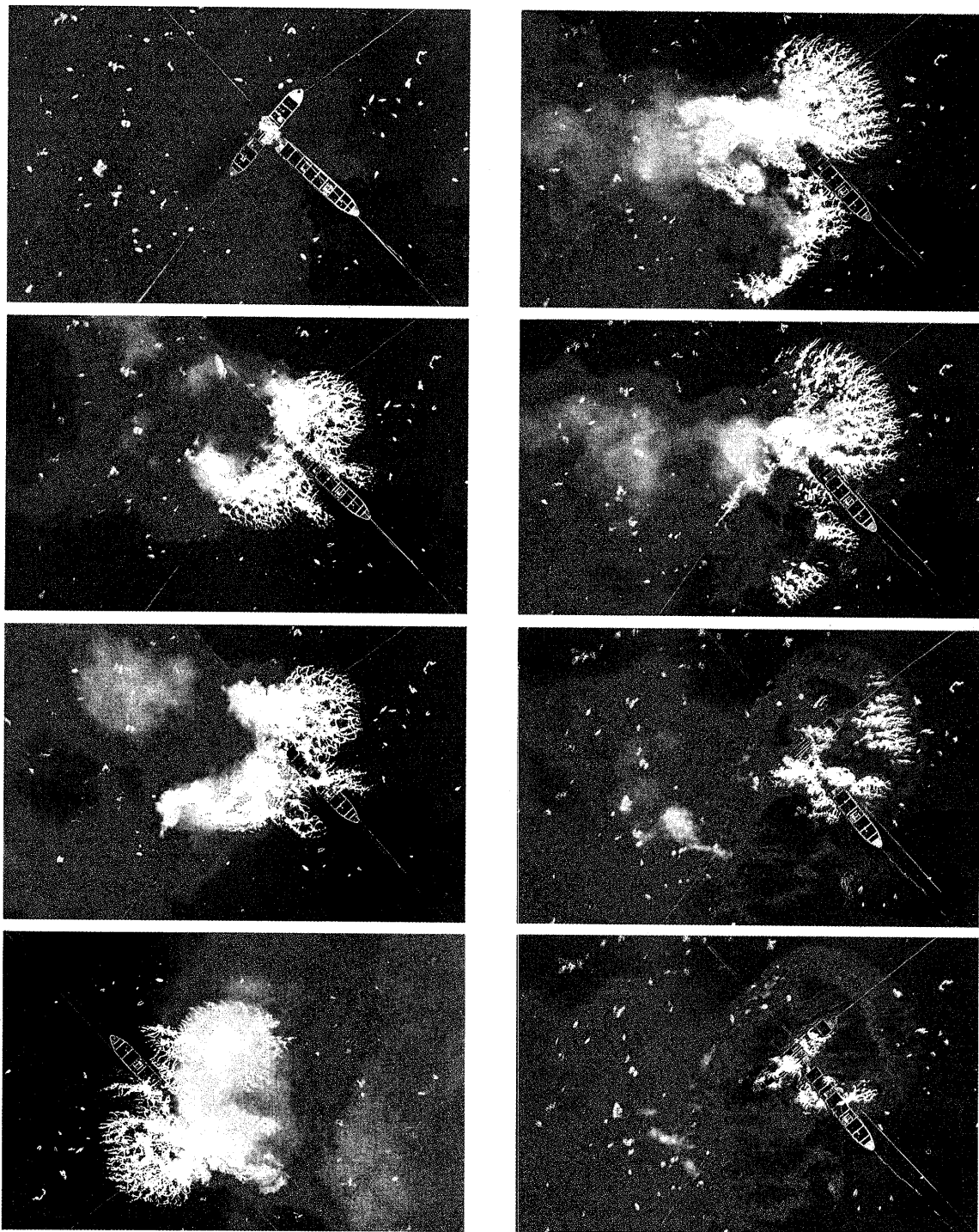


写真-7 実験番号4 (左上より下へ, 5秒間隔の状況)

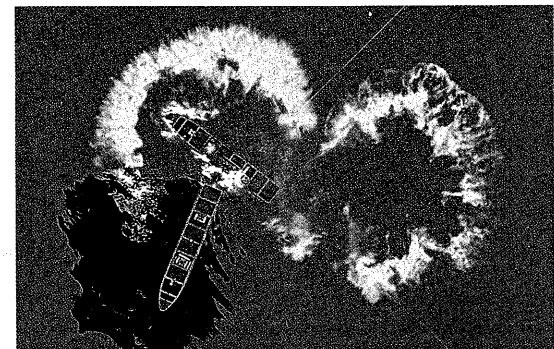
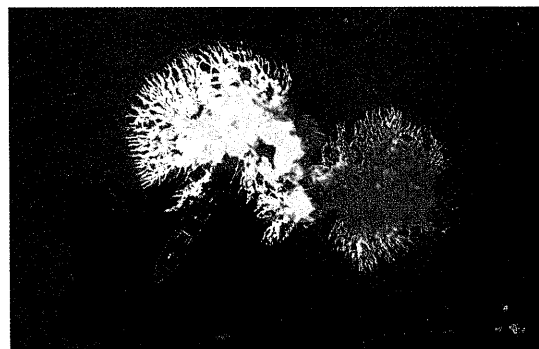
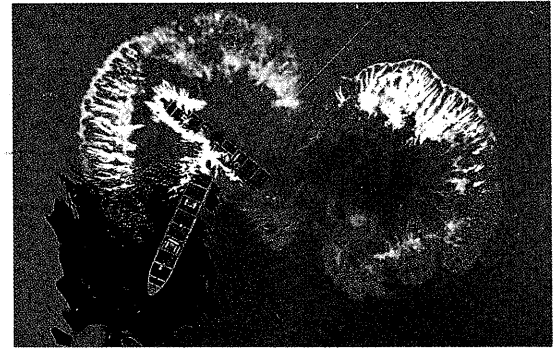
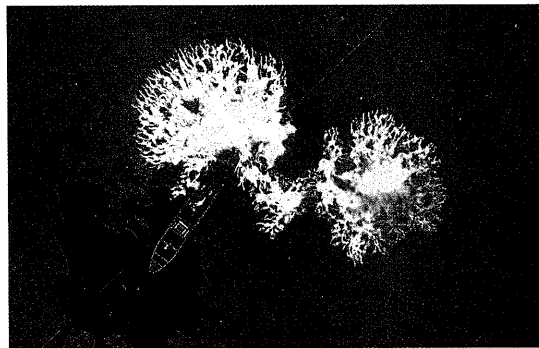
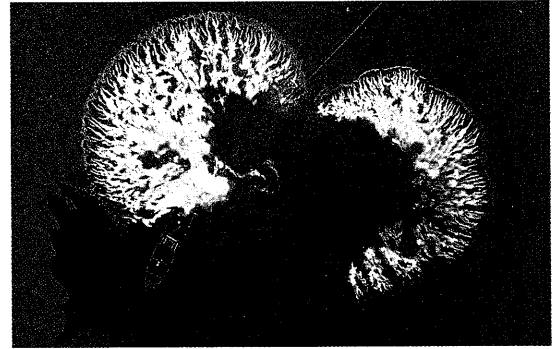
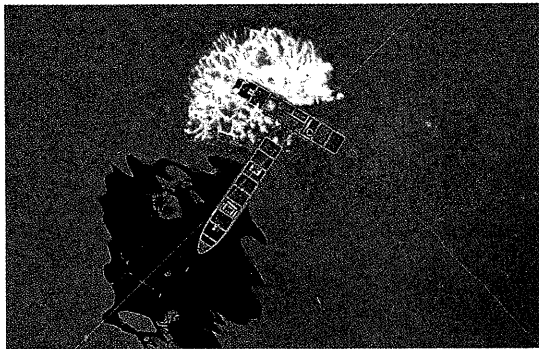
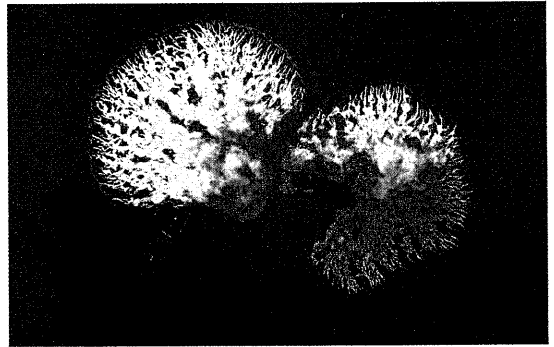
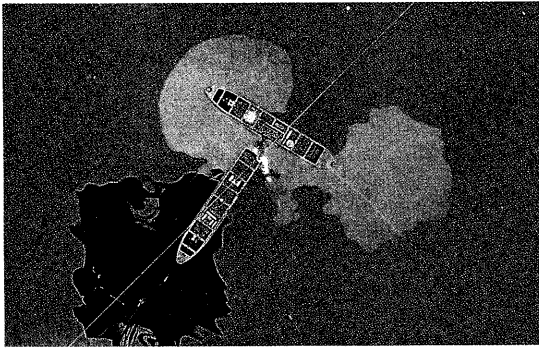


写真-8 実験番号5 (左上より下へ, 5秒間隔の状況)

子（色採，形状等）を示すようになる。

火災状況は極めて衝撃的であり，流出油面が一瞬の間にはいわゆる火の海となり，燃烧面の内側に吸い込まれるように火炎が上昇して，大火災で見られるような旋風を伴う螺旋状の火炎が生じる。そして，火災の後期に入ると，船体と離れた個所に環礁のような円弧状の水面火災が残り，それが次々と分断されて独立した燃烧面となりやがて消滅する。一方，船体周りの水面にはいつ迄も火炎が残り，衝突破口の付近では流出油の水面火災とタンク内火災の吹出し炎とが混在して最後まで燃烧が続く。これらの火災状況は従来の大事故の記録とよく類似しており，実験による記録画像とは思われぬ程の現実味があつた。

唯，実際の災害状況と最も大きく異なる点は経過時間の早さであつて，水面火災の継続時間は数十秒から1～2分の規模であり，船体に付着した油やタンク内の油の火災も十分程度の規模で終息した。

5.計測結果及び考察

5.1 全体の概要

実験時の諸条件，各種の計測値，及び記録画像から得られた諸数値の主なものをまとめて表-2に示した。油の流出範囲の広さはすなわち水面火災の広さであり，これは当然衝突から着火までの時間経過により増加する。また，表-2から明らかなように，火災の継続時間も着火までの時間と関連が認められる。従つて表-2においても，この衝突から着火迄の時間の順で示し，以降もこれをパラメータとして整理する。

火災の継続時間として，着火から水面燃烧が終了する迄，流出口の吹き出し火炎が終了する迄，及びタンク内や船内の火災が終了する迄，の時間を採つたが，前述のように前二者の境界は明瞭ではなく，それぞれの時間は一つの目安に過ぎない。また船内火災の終了時期も明確でないものがある。最大水面燃烧の面積とその時間は記録写真とVTRから求め，輻射の検知時

表-2 計測結果等一覧表

実験番号		2	4	3	5	1
油	量 cm ³	2,000	2,000	2,000	2,000	1,000
水	温 °C	11.0	4.9	10.5	8.2	15.0
気	温 °C	10.0	8.3	11.0	9.8	—
風	速 m/sec	N. D.	1.0以下	N. D.	1.0以下	N. D.
衝突	速度 cm/sec	33	29	48	38	33
衝突から着火迄の時間 sec		0	35	64	105	295
着火から終了までの時間 min-sec (観察)	水面燃烧	1-20 2-35	1-20 2-34	1-45 2-25	0-40 1-49	0-32
	流出口燃烧	3-00	2-50	3-35	2-00	0-32
	船内燃烧	5-00以上	7-00	12-25	5-40	5-00以上
最大水面 燃烧時	面積 m ²	1.67	5.10	3.77	5.43	5.53
	最大長さ × L	1.71	2.04	2.37	2.35	3.03
	等価円直径 × L	0.97	1.70	1.46	1.75	1.77
	時間 sec	25	20	14~16	15	12
輻射量	最大強度 Kcal/m ² h	82	389	358	620	163
	全量 Kcal/m ²	0.99	2.71	4.17	2.49	0.60
	検知時間 ¹⁾ sec	65	39	43	30	21
最高船体温度 ²⁾ °C		270以上	330以上	330以上	270以上	—

註 1) 輻射量の低下時にはゼロに漸近するため，直線的な低下部を延長した箇所までの時間とした(図-4参照)。

2) サーモラベル(200°C, 270°C, 330°C)による値を示す。

間とは輻射量が測定記録された時間を記録紙上から求めたものである。

5.2 水面火災の規模

衝突から着火までの時間を基として、水面火災の最大面積が変化する様子を図-2に示し、また水面火災の継続時間等を図-3に示した。図には観察による水面燃烧時間の他に、輻射熱の検知時間、水面火災が最大面積に達する迄の時間も併せて示した。いずれの値も着火迄の経過時間が増すにつれて減少し、ほぼ一定値に近づく。この図から、火災の継続時間には輻射量の検知時間を採るのが適当と認められる。水面火災が最大面積に達する時間は、輻射量検知時間のほぼ50%である。

水面火災の最大面積は火災継続時間と逆の傾向を示し、着火迄の時間経過と共に増加し一定値に近づく。すなわち、衝突による油流出から着火までの時間が長

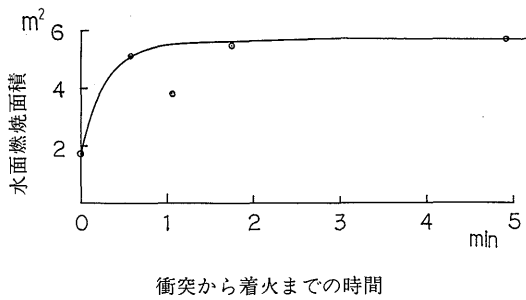


図-2 水面燃烧の最大面積

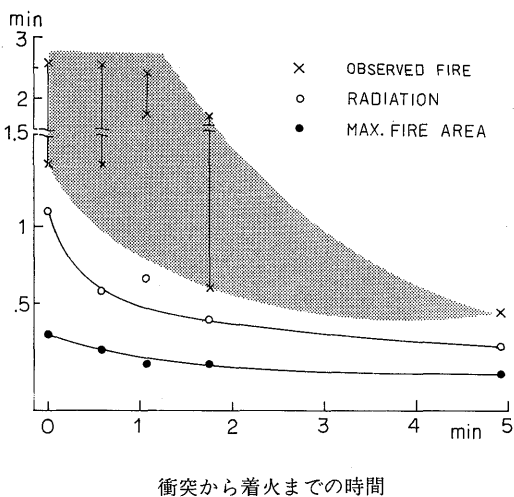


図-3 火災継続時間等

いほど、油が広く拡散し油膜厚さが薄くなるため、水面火災の面積は広くなり燃烧時間は短くなる。これは極く当然な現象であるが、かなり確率的な要因に支配されていると考えられる本実験でも確認され、従って油面の燃烧速度は一定であると認められる。

但し、実験番号3に関しては他の場合と傾向が一致せず、燃烧面積が小さく、燃烧時間が長い。実験番号3の特色としては、

- 1) 衝突速度が最も大きい。
- 2) 衝突船の両舷に沿った方向に油面が舌状に突出する状況が顕著に認められた。
- 3) 火勢が極めて激しく、つむじ風を伴った螺旋状の火炎が発生し、後半においては、タンクの流出口から間歇的に激しく火炎が噴出するのが認められた。
- 4) 衝突後1分15秒で両船体が離れ、これは加熱により接着用磁石の磁力が失われたためと考えられる。
- 5) 輻射量の値が図-4に示すように2つのピークを示し、火災後段で再び燃烧が強くなったと認められる。

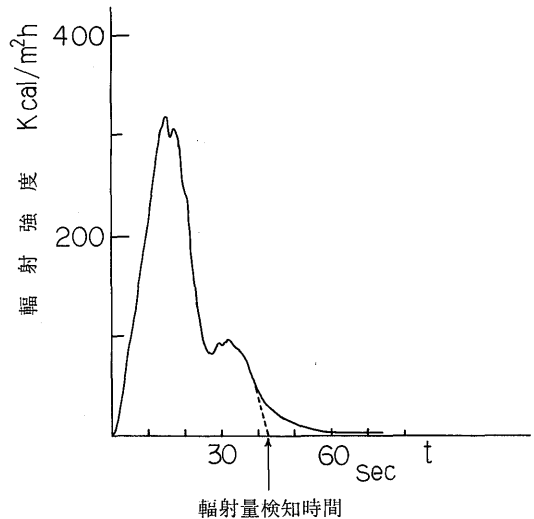


図-4 輻射量測定結果(実験番号3)

等が挙げられる。燃烧面積と燃烧速度の傾向が他と異なる理由は主に5)によると思われる。何故燃烧が2段階になったかは判然としないが、3)の現象からタンク内燃烧のために内部圧力が正、負に周期的に変動したと認められる。実際のタンク内火災でもこのような現

象はよく観測されており、これがタンク内の油と水の置換を妨げたのではないかと想像される。

5.3 燃焼速度

水面における油面の燃焼速度はほぼ一定と考えられ、全部の油量が最大燃焼面積において輻射量検知時間の間に燃焼したと仮定すると、約0.52~0.74mm/min となり（油流出後直ちに着火した実験番号2の場合を除く）、着火迄の時間が最も長い実験番号1が最小値を示した。

燃焼速度の値をさらに検討するためには、拡散した油の燃焼面積の変化を検討する必要がある。実験番号5の燃焼面積の時間的変化の様相を図-5に示すが、この場合には被衝突船の船首尾方向に8字状に油面が拡散し、まず船尾側の油面で燃焼が始まる。着火の5 sec 後には全面にわたる火災となり、10~15sec では面積は殆ど変化しないが、20sec では大きく二つに分割し、やがて25sec 経過時には環礁状となる。

このような図から各時刻の燃焼面積を求め、代表的な2例について燃焼面積の時間的変化を示すと図-6のとおりになる。着火後の時間経過と共に水面燃焼面積は急激に増加の後やがて減少するが、油量の等しい両実験ではその積分値は殆ど等しい。この間燃焼速度 V が一定と仮定し、全油量 q が燃焼面積 A で輻射量検知時間 t の間燃焼するとすれば

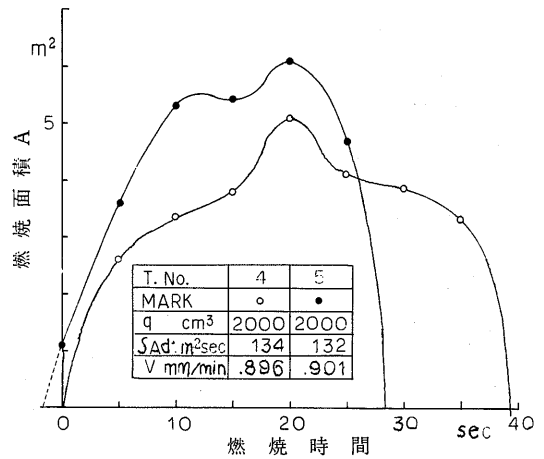


図-6 水面燃焼面積の時間的変化

$$V \int A dt = q$$

であり、燃焼速度はいずれも約0.90mm/min となる。これは八丈島沖で行われた大規模実験⁵⁾による燃焼速度約0.43mm/min の略2倍である。

一方、定常的に油を流出させたときの燃焼実験⁶⁾においては、油の種類の違いがあるものの、本実験結果よりも2.5~5.5倍くらい高い燃焼速度が得られてい

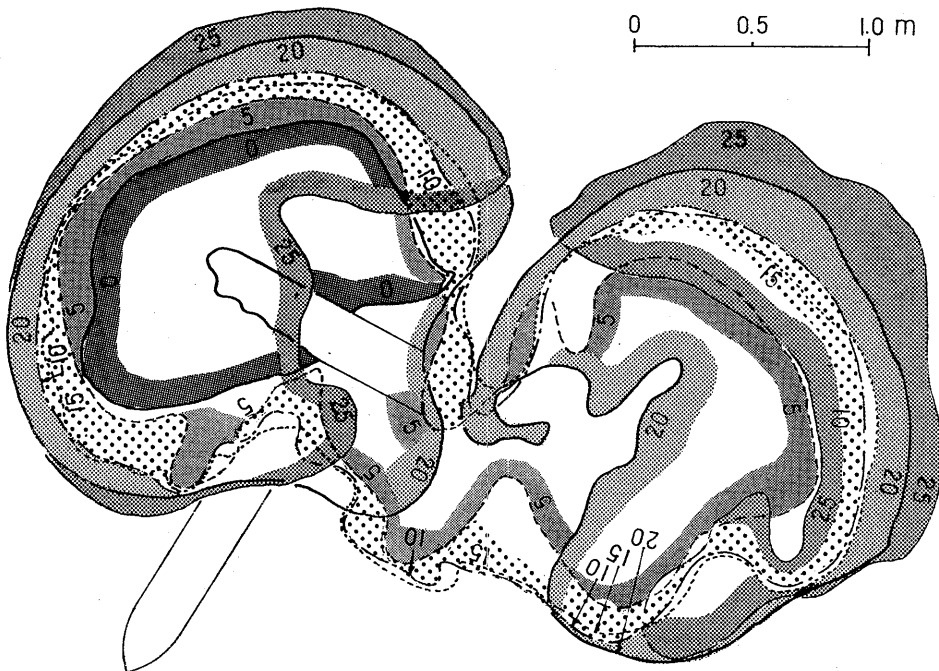


図-5 水面燃焼面の形状 (実験番号5)

る。このような差は、主に油の種類の違いと、非定常流出という燃焼条件の差によるものと考えられるが、今後の検討課題であろう。

5.4 輻射量

輻射量の測定値は実験ごとに大きな相違がある。しかし全輻射量の値の大きさの順位は、感覚的または観察による火災の強さの順位とほぼ合致していると思われる。

輻射の強度については、測定点と燃焼面の中心との距離 l を燃焼面直径 D で除した無次元距離 l/D と、輻射強度 (Kcal/m²h) との間に相関関係があり、 l/D の増加と共に強度は減少する、といわれる⁹⁾。この関係を検討するため、一応最大強度の時点において、記録画像から l 及び D を求めて整理した。

l の値には輻射強度が最大となったときの被衝突船中心位置までの距離を用い、 D の値には最大燃焼面積と等価な円の直径を用いると、 l/D と輻射強度との値は大きくバラつき、両者の間には殆ど関係が認められなかった。しかし、 D の値に輻射計に直面する火災の幅を採用すると、図-7に示すように明らかな相関が認められ、上記と同じ関係が確認された。

従って、輻射については測定方向に対する火災の厚みは殆ど関係せず、輻射計に対する火災の立体角がやはり意味を持つと考えられる。使用した輻射計の性能

は、10mの距離で中心から±0.75mの範囲の輻射を捕捉するものであり、本実験では $10.5 \leq l \leq 12$ (m)、 $2.98 \leq D \leq 4.31$ (m)の範囲であった。

5.5 船体温度

船体の損傷の程度を表す指標を求めるため、船体温度を測定した。表-2の値はサーモラベルが変色する値であり、正確な意味での最高温度ではないため、走査型赤外線温度計による測定結果について検討する。

この方式は遠隔測定という利点がある反面、急激な温度変化には追従できず、また火炎や煙が存在すると誤差が大きくなる。そのため、火災終了後の船体温度を測定し、その時間的変化から最高時の値を推定する方法を採った。

代表的な2例について、船体温度の最高点の時間経過による変化を図-8に示した。いずれの場合も温度は指数関数的に減少しており、その回帰式から、火災の最勢期または終息期（輻射量の最大時期または検知時間）に於ける船体の最高温度が求められる。これらの値は、実験番号4では346℃または320℃、実験番号5では192℃または183℃となり、火災最勢期における温度は表-2及び図-9に示す最高温度と比較的よく一致した。燃焼の時間が短いため、この温度は実際の火災の場合の船体温度を示すものではなく、この縮尺影響については次項で検討を加える。

サーモラベルから求めた船体の熱影響部の範囲を図-9に示すが、衝突から着火までの時間が短くても長くても影響部の範囲は小さく、中間で最も影響範囲が大きくなるようである。着火までの時間が短ければ油流

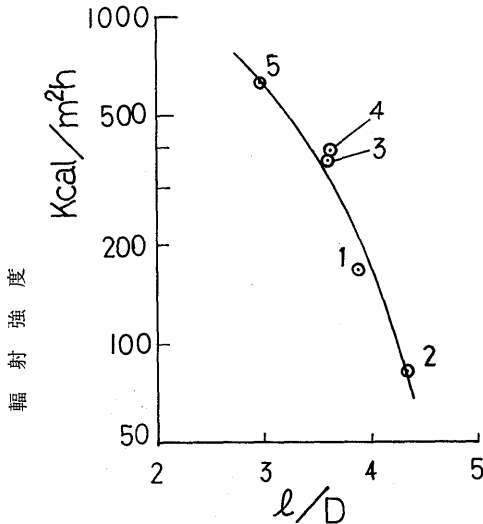


図-7 輻射強度

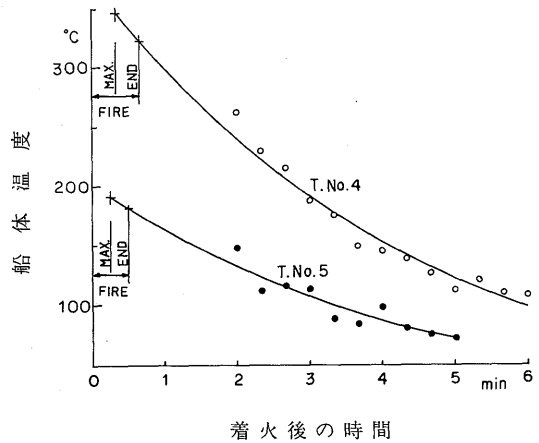


図-8 船体温度

出範囲が小さく、燃焼面積が小さいために熱影響部が限定され、また時間が長くなれば拡散により船体と離れた個所で短時間の燃焼となるため影響は少なくな

る。従って、実験番号4で代表されるような条件の場合に、船体損傷は最大になると考えられる。

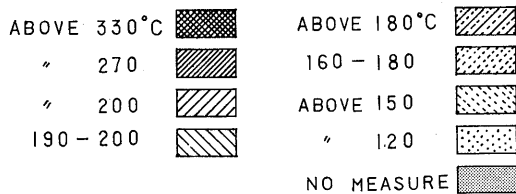
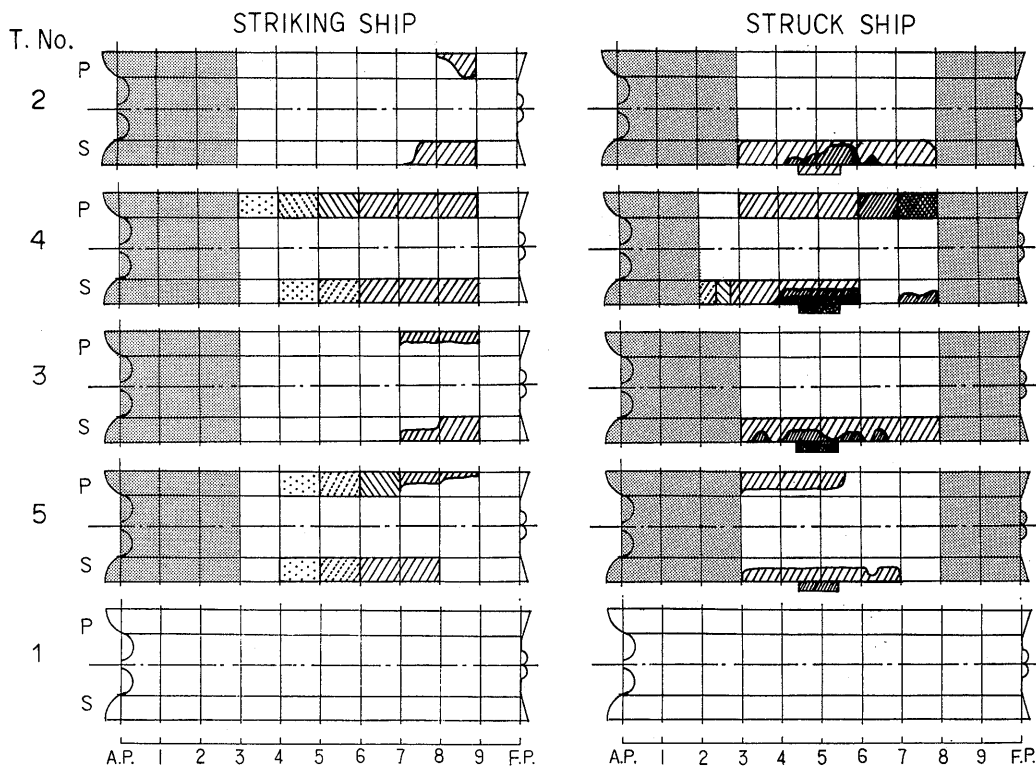


図-9 船体の熱影響部

6. 実際の船舶火災との相似性

6.1 全体的な縮尺影響

実験に対する観察結果によれば、本実験は極めてリアルに実際の災害状況を再現していると考えられ、特に火災状況は衝撃的な程であった。しかし、数量的には模型であるがための縮尺影響があり、その相似則を検討する必要がある。最も大きな問題は火災の継続時間であり、次いで船体の損傷程度を表す船体温度であると考えられる。

使用した模型船は20万トンタンカーの1/200縮尺模型のため、流出させた油量1~2lは実船の8,000~16,000m³に相当し、20万トンタンカーのタンク容積を250,000m³と仮定すれば、その約3.2~6.4%である。流出油による火災の範囲は船の長さの2~3倍に達したため、実際の場合にはおよそ600mから1,000mになると推定される。

6.2 燃焼時間

油の燃焼速度は、単位時間当たりの油面の厚さとして通常表すため、単純に考えれば燃焼時間は寸法比と等しく、実物の1/200になる。

しかし、拡散した油の燃焼速度は拡散油面の広さと関係があると考えられ、油の面積が大きい程内部への酸素の供給が不十分となるため燃焼速度は低下し、ある広さ以上では一定値になると言われている。前述のとおり、本実験の燃焼速度は八丈島沖の大規模実験結果の約2倍程度と大きく、やはり拡散油面の広さが小さいためと考えられる。

従って実際の海面火災の時間は、寸法比による倍率200倍と、燃焼速度の縮尺影響による倍率2倍との積になると推定される。実験の火災継続時間として、輻射量検知時間(21~65sec)を用いれば実火災はおよそ2.3~7.2hの規模となり、観察による水面燃焼時間(32sec~2min35sec)からはおよそ3.6~17.2hの規模となる。

一方、実際の船舶火災の経過時間も変動が大きいですが、信頼性の概念により火災の故障率(消火率または終息する確率)を検討した資料⁷⁾がある。それによれば大型タンカーの火災は10時間を経過した時点で消火率が極大値を示し、以後不連続に著しく低下すると認められ、これは海面火災が終息した時点と大きな関係があると推定されている⁸⁾。すなわち流出油による海面火災が燃え尽きた時点で、船体に衝突破口以外に大きな損傷が生じていず、それ以上の油の流出がなければ船舶火災は終息し易く、その率は10時間で最大に達する。も

(18)

しも船体の損傷が大きく、次々と流出口が発生して海面燃焼が続くならば消火は極めて困難となり、その場合の火災継続時間は500時間を超えることもあり得る。

以上の推測を本実験に当てはめれば、観察による水面燃焼時間よりも、輻射量検知時間を火災時間に採り、縮尺による影響として400倍の倍率を用いるのが妥当と考えられる。

6.3 船体温度と熱影響部

火災の燃焼温度を表す代表的なものとして、SOLAS, JIS等でほぼ国際的に統一された標準の火災試験温度がある。これは表-3に示す温度で表され、火災初期には殆ど直線的に上昇するが、1時間以上も経過すれば950~1,000℃のほぼ一定値と考えてよい。

表-3 標準火災試験温度

経過時間	温度
5 min	556 °C
10	659
15	718
30	821
60	925

従って、本実験のように数十秒から1~2分の火災では燃焼温度が著しく変化し、非定常熱伝達により船体温度も複雑に変化すると考えられる。しかし実際の火災は1時間以上の規模であり、その温度も伝熱状態も定常に近いと推定されるため、船体温度も火災温度と等しくなると考えられる。

この仮定に立てば実際の船体温度の推定はあまり意味がなくなり、熱影響部の範囲の方が重要となる。前記のように、衝突から着火までの時間により熱影響部の面積や範囲は変化し、それが極大値を示すような着火時刻があると推定される。本実験の範囲ではその時刻はほぼ30~45秒程度であるが、この時刻は油流出と拡散の状態で変化し、かなり確率的要素に支配されるものと推定される。

従って、実際の油流出と火災の場合について、この最も危険な着火時刻を推定することは難しいが、およそのところは寸法比による時間倍率の値に近いと思われる。厳密には流出と拡散に関する相似則の基に検討する必要があるが、今回のような不規則形状の拡散の場合を、観察による実験だけから推測することは無理と考えられる。

7. 結 論

大型タンカーの衝突災害の規模を想定する方法として、模型実験により衝突、油流出、及び火災という一連の現象を再現する手法を検討した。その結果、極めて現実味のある現象を観測または画像として記録でき、また燃焼時間、燃焼速度、輻射量、船体の損傷程度について普遍性のある測定値が得られ、実際の火災との相似性に関する知見が得られた。主な結論は次のとおりである。

- 1) 衝突による典型的な油流出状況を再現することが出来、シミュレーション結果や実際の流出事故と類似の様子が観察できた。
- 2) 流出油によるタンカー火災の状況は衝撃的な程に現実味と迫力があり、海難事故の記録映像と極めて酷似していた。
- 3) 油流出から着火までの時間により、水面火災の面積とその燃焼時間とが変化し、両者の間には合理的に説明できる関連が認められた。
- 4) 燃焼速度、輻射量について貴重な資料が得られ、類似研究との比較検討が行えた。
- 5) 実際のタンカー火災に対する縮尺影響の目途がつき、火災継続時間と船体損傷に対する相似性が明らかとなった。

本研究は、タンカーによる大型災害を模型実験により模擬再現し、実際の災害規模を推定する手法を確立しようとしたものである。従って、不幸にしてこの種の災害が発生した場合には、直ちにその条件の下で実験を実施し、以後の災害の発展経過を模擬し、発生する可能性のある現象を想定し、必要な対策戦略を樹立するために役立つ。また、限られた本実験の範囲から

も、実際の火災で生じる基本的な現象が数量的に把握され、その合理的な根拠を説明することを得た。

本計画が検討され始めたのは約8年以前であり、それ以降本実験に着手する直前迄この計画推進に貢献した小黒英男大阪支所長に心からの感謝の意を表す。また、実験の遂行の為に種々御指導と御鞭撻を頂いた東京大学生産技術研究所浦環助教授を始め、実験に協力参加された材料加工部林慎也加工法研究室長、元システム技術部水落浩孝技官に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 小黒英男他：模型による船舶衝突実験，船舶技術研究所報告，第20巻，第6号（1983），pp.1～13
- 2) 翁長一彦，小黒英男：模型実験による衝突船の挙動と衝突荷重，日本航海学会論文集，第67号（1982），pp.27～34
- 3) 小黒英男：制約水域への油拡散現象，日本航海学会論文集，第71号（1984），pp.115～122
- 4) 都井 裕：海面上における流出油拡散過程の解析，日本造船学会論文集，第147号（1980），pp.128～135
- 5) タンカーの油流出事故対策に関する特別研究報告書，科学技術庁，昭和44-3
- 6) 湯本太郎：水面上に流れ出た油の燃焼，安全工学，13巻1号（1974），pp.7～12
- 7) 翁長一彦：船舶火災事故に対する信頼性解析，日本造船学会誌，第582号，昭和52-12，pp.9～16
- 8) 翁長一彦他：船舶火災に関する研究動向と問題点，日本船用機関学会誌，第14巻，第7号（1979），pp.34～41