

大型タンカーの防災について (2)

元 良 誠 三*

5. 石油ガスの拡散

石油ガスの濃度計算を、下記の(1)~(9)の条件の下で行なった。

- (1) 原油から蒸発するガスの蒸発速度については、2, 2・3 に示された値を参考にする。
 (2) 単位面積からの蒸発速度は油面の総面積に無関係であるとする。
 (3) 単位面積からの蒸発速度の風速による影響は、Powell-Griffiths の式 (2, 2・3 参照)

$$q_m = 2.12 \times 10^{-7} x^{0.77} (P_0 - P') (1 + 0.121 U^{0.85}) \quad (\text{cgs}) \quad (14)$$

による。

- (4) 油面の広がる速度は 4. (13) 式を用いる。

$$R = \left(\frac{16g\rho V^3}{\pi^3 C^2 \eta} t \right)^{\frac{1}{3}} = (dt)^{\frac{1}{3}} \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{16gV^3}{\pi^3 C^2 \nu}$$

$$V = 4.5 \times 10^3 \text{ m}^3 = 4.5 \times 10^9 \text{ cm}^3 \quad (\text{3万kl流出のとき})$$

$$C = 0.1, \nu = 0.1 \text{ St}$$

とすると

$$\alpha = 4.56 \times 10^{34} \quad (16)$$

- (5) 原油の蒸発成分が油面から蒸発しきる時間 T は M_0 を総量、 M を残存量とすると

$$\frac{dM}{dt} = -q_m R^2 \quad (17)$$

$$\begin{aligned} M &= M_0 - 4 \int_0^t q_m R^2(t) dt = M_0 - 4q_m \int_0^t (dt)^{\frac{2}{3}} dt \\ &= M_0 - 4q_m \alpha^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{4}{5} t^{\frac{5}{3}} \end{aligned} \quad (18)$$

$t = T$ のとき $M = 0$

$$T = \left(\frac{5}{16} \frac{M_0}{\alpha^{\frac{1}{3}} q_m} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (19)$$

- (6) 蒸発速度の vol 単位表示、vol は 20°C 1atm

に換算する。

$$q_v = \frac{q_m}{M} \times 22.4l \times \frac{293}{273} = 2.41 \times 10^{-2} \frac{q_m}{M} \quad [\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{sec}] \quad (20)$$

M (分子量) は正確な値はわからないが一応 85 とする。

- (7) 濃度計算式は坂上の式を用い、油面は 1 辺 $2R$ の正方形とする。

$C(x, y, 0, t)$

$$\begin{aligned} &= q_v \int_k^t \frac{1}{B} \frac{\phi\left(\frac{x+R-U\xi}{\sqrt{A}}\right) - \phi\left(\frac{x-R-U\xi}{\sqrt{A}}\right)}{2} \\ &\quad \times \frac{\phi\left(\frac{y+R}{\sqrt{A}}\right) - \phi\left(\frac{y-R}{\sqrt{A}}\right)}{2} d\xi \end{aligned} \quad (21)$$

$$k = \begin{cases} 0 & t \leq T \\ t-T & t \geq T \end{cases}$$

$$\begin{aligned} A &= q_A \left(\frac{\varphi_A x}{u} + \exp\left(-\frac{\varphi_A x}{u}\right) - 1 \right) \\ B &= q_B \left(\frac{\varphi_B x}{u} + \exp\left(-\frac{\varphi_B x}{u}\right) - 1 \right) \end{aligned} \quad (22)$$

- (8) 気象条件はやや安定とし

$$\begin{aligned} \varphi_A &= 4.78 \times 10^{-2} & \sqrt{q_A} &= 1.29 \times 10^{-1} \\ \varphi_B &= 4.20 \times 10^{-2} & q_B &= 3.50 \times 10^{-1} \end{aligned} \quad (23)$$

とする。

- (9) 計算条件

(i) 流出油量 [kl] 6 000 10 000 30 000

(ii) 風速 [m/sec] 0.5 2 8

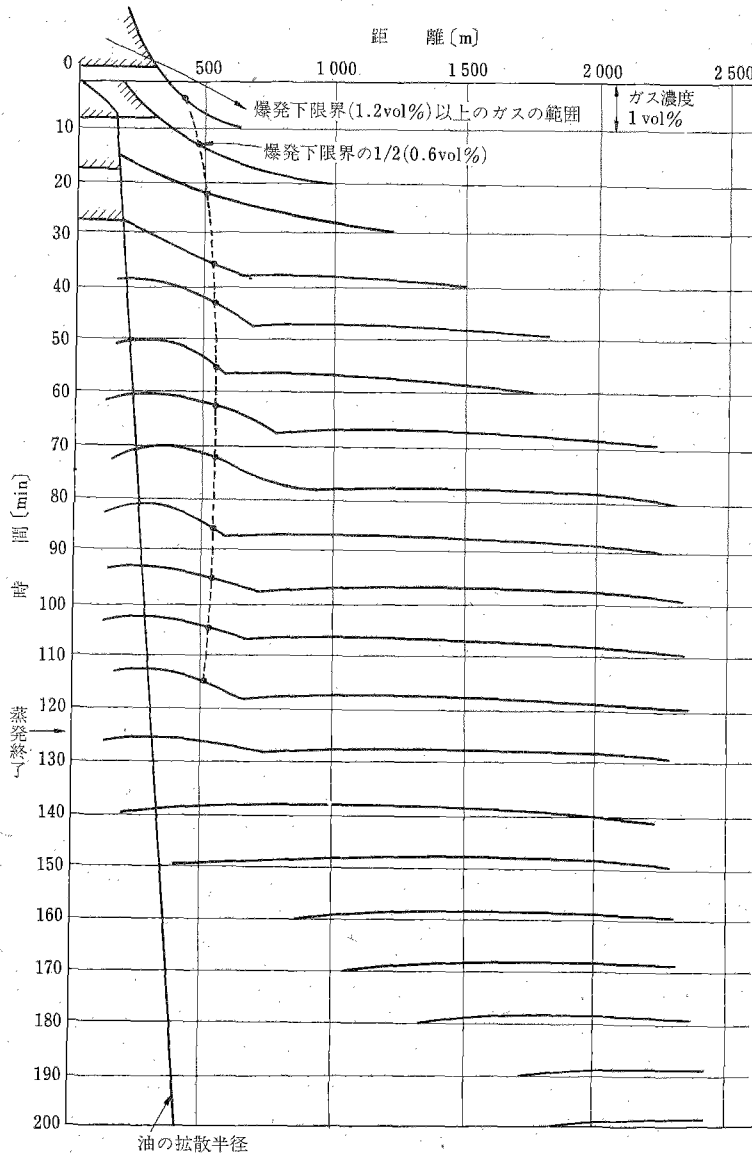
(v) 原油中の常温の蒸発成分 5%

(vi) 風速 0.5m/sec における蒸発速度
 $5 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$

以上の条件の下で電子計算機により数値計算を行なった結果を、第 15 図~第 23 図に示す。

図では流出後 10 分ごとの石油ガスの濃度を (1vol% を 1 cm として) 油面の中心からの距離に対応して示しており、参考のために蒸発終了時刻 T と原油の広が

* 東京大学工学部

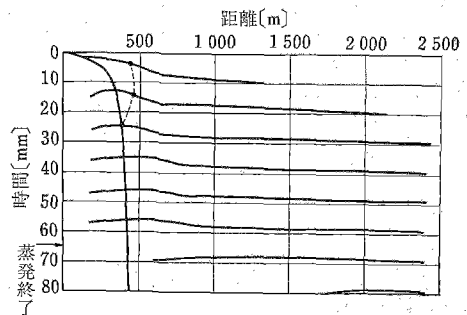


第15図 流出油量 6000 kl, 風速0.5 m/s のときのガス濃度分布

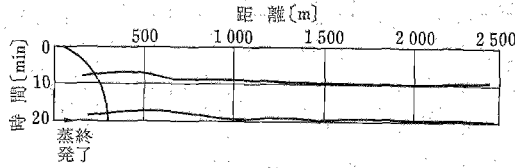
り半径 R も記入してある。また、爆発下限界 (1.2 vol %とした) 以上のガス濃度の範囲を斜線で示し、爆発下限界の 1/2 の距離の点を破線でむすんだ。

これらの図をみてわかるとおり、風速の影響は非常に大きく、無風のときはきわめて長時間爆発の危険性があるが、風速が 2m/s をこえるとごく短時間で危険はなくなる。

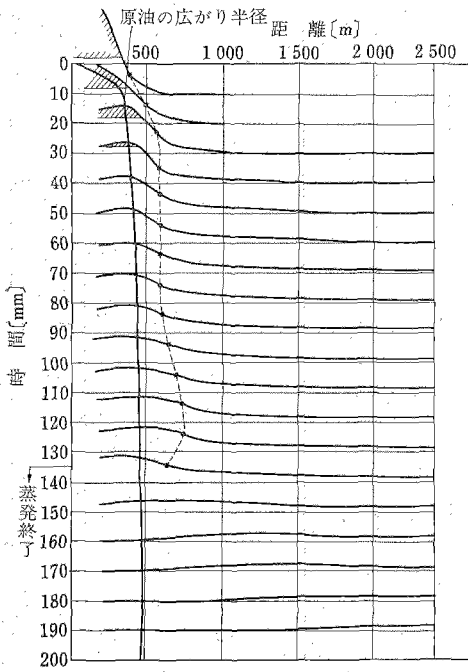
なお、ここに示した結果は多くの未確認の仮定を前提としており、数値計算もかなり荒い方法をとっているため、あくまで一つのメヤスとして参照されたい。



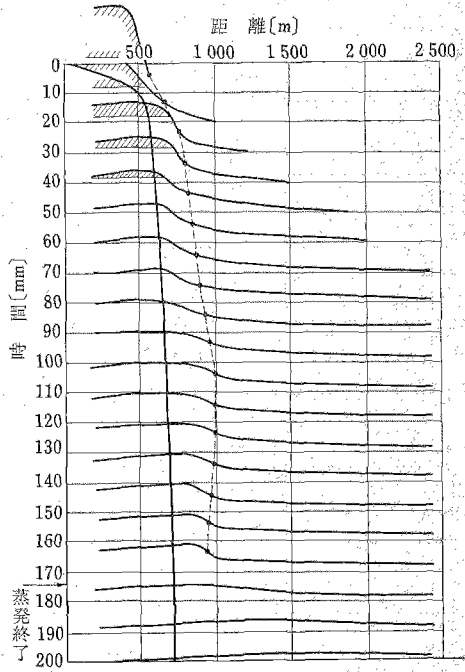
第16図 6000kl, 2 m/s のとき



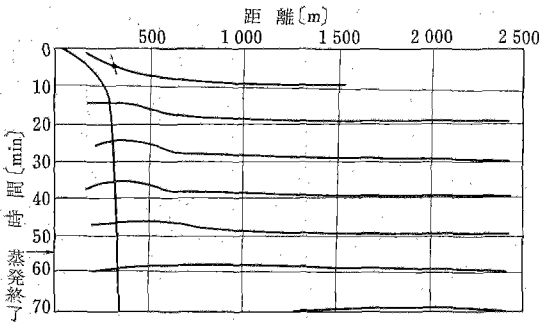
第17図 6000kl, 8m/s のとき



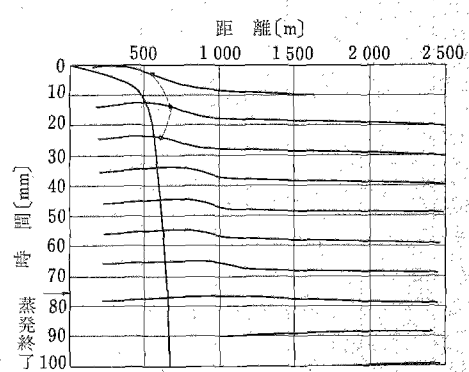
第18図 10000kl, 0.5m/s のとき



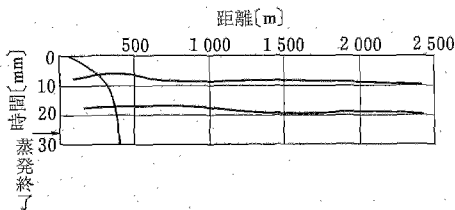
第21図 30000kl, 0.5m/s のとき



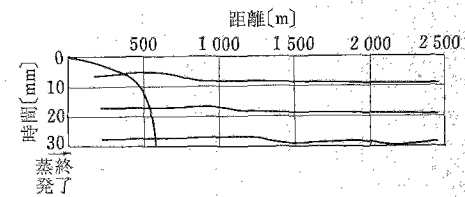
第19図 10000kl, 2m/s のとき



第22図 30000kl, 2m/s のとき



第20図 10000kl, 8m/s のとき

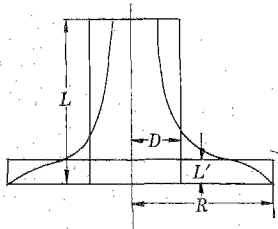


第23図 30000kl, 8m/s のとき

6. ふく射熱による危険範囲

6.1 ふく射源 (火炎) に関する仮定

6.1.1 ふく射源の形状 石油火災における炎の形は周囲の状況によって変わるが、広い海面上において火災が発生した場合、その形状はまわりからの空気の吸込みのため、裾を引いた円錐形になるだろうと思う。そこで、ここでは火炎を第 24 図に示したような背が高く細い円筒と、背が低く直径の太い円板より構成されると考えた。



第 24 図 火炎の形状

6.1.2 ふく射源の輝度 次に火炎の輝度については、発光源となる炭素粒子は火炎の外周に多く分布していることを考え、発光は円筒および円板の外側の表面からのみ生ずるとし、さらに円筒の場合は観測位置に至る距離に比べてその直径は小さいので、発光面は縦方向の断面で置き換えられるとし、逆に円板の場合は背が低いので高さ方向の変化は無視できるとした。かくて、実際の計算においては円筒は高さ方向のみ積分され、円板は水平方向のみが積分されている。

なお、石油火災の場合、火炎温度 T は変動が激しくまた位置による差が大きいので、どの値を平均として用いてよいかは判然としない上、ふく射能も確実な測定に乏しいので、ここでは、両者の積 ϵT^4 をひとまとめにして実験と合うように与え、これらを別々に与えることを避けた。軽質留分を含む石油についてのこの値は

$$B \equiv \sigma \epsilon T^4 = 1.80 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

(σ : Stefan-Boltzmann 定数)

くらいと考えてよいが、重油などでは平均火炎温度が低いのでもう少し小さくなる。

6.1.3 ふく射源の大きさ 石油火災の場合、火炎の大きさは油面の大きさに関係しているのので、前記円筒、円板の高さおよび半径は油面半径の関数とし、ここでは次のように置いた。

$$L = \alpha R = 3.0R$$

$$L' = \beta R = R/25$$

$$D = \gamma R = R/3$$

ただし、ここに L は円筒の高さ、 L' は円板の高さ、 D は円筒の半径、 R は油面半径で、比例定数 α, β, γ の数値は従来の測定および火炎の形状より推定した

値である。なお油面の形が円形でなく、矩形または楕円の場合には火炎の高さは短辺で左右されるので、 L, L' を計算するに当たっては短辺を R に取り、また D の計算にはふく射を受ける方向によって長辺ないし短辺を取る。

6.2 ふく射熱の計算

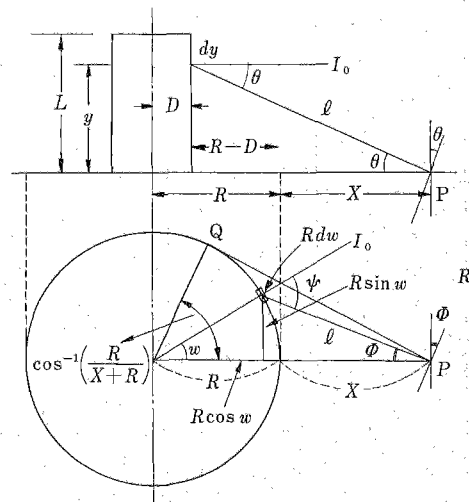
上記の仮定に基づいて海面上の石油火災からのふく射熱を計算すると次のようになる。ただしふく射熱を受ける面は海面上で、それに垂直な単位面積とし、受熱点の高さは零ゆえ、円板の上面よりのふく射ははいらないものとする。

6.2.1 円筒からのふく射熱の計算 円筒の側面に直角な方向の輝度を B とすると、これは前記のように $B = \sigma \epsilon T^4$ で与えられる。そこで、ふく射源の単位面積についてのふく射量を dI_1 とすると、これは次のように表わされる。

$$dI_1 = 2DB dy = I_{01} \cdot dy, \quad I_{01} \equiv 2DB \quad (24)$$

かくて、第 25 図に従って P 点で受けるふく射量は

$$dI_1 = I_{01} \cos \theta \cdot \frac{1}{r^2} \cos \theta dy \quad (25)$$



第 25 図 海面上の火災のふく射源と受熱面の関係

しかるに

$$\cos \theta = (X + R - D) / l, \quad l^2 = y^2 + (X + R - D)^2 \quad (26)$$

の関係があるから、(26)を(25)に入れて火炎の高さ L まで積分すると次のようになる。

$$I_1 = \int_0^L \frac{I_{01} (X + R - D)^2}{\{(X + R - D)^2 + y^2\}^{3/2}} dy$$

$$= \frac{I_{01}}{2} \left\{ \frac{L}{(X + R - D)^2 + L^2} + \frac{1}{X + R - D} \tan^{-1} \left(\frac{L}{X + R - D} \right) \right\} \quad (27)$$

6.2.2 円板からのふく射熱の計算 円板の側面に直角方向のふく射量を dI_2 とすると、仮定により

$$dI_2 = BL' R dw = I_{02} R dw, \quad I_{02} \equiv BL' \quad (28)$$

したがって、第25図に基づいてP点単位面積の受けるふく射量は、次式によって与えられる。

$$dI_2 = I_{02} \cdot \cos \Psi \cdot \cos \Phi \cdot \frac{1}{r^2} \cdot R dw \quad (29)$$

そこで、 l, Ψ, Φ, R をすべて w で表わして、 dI_2 をP点からみえる円板側面の範囲、角度でいうと0から $\cos^{-1}\left(\frac{R}{X+R}\right)$ までを積分し、その2倍を求めれば円板からのふく射量が得られる。

途中、簡単な近似を1箇所用いて積分した結果は次のとおりである。

$$I_2 = 2I_0 R \left[\frac{(X+R)^2 + R^2}{X(X+R)(X+2R)} \cdot \tan^{-1} \left\{ \frac{X+2R}{X} \cdot \tan \left(\frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\frac{R}{X+R} \right) \right) \right\} - \frac{\cos^{-1} \left(\frac{R}{X+R} \right)}{2(X+R)} - \frac{(X^2 + 2R^2)(X^2 + 4XR + R^2)}{8X^2(X+R)^2(X+2R)} + \frac{X}{8(X+R)^2} - \frac{(X+R)^2 + R^2}{8R(X+R)^2} \cdot \ln \left(\frac{X+2R}{X} \right) \right] \quad (30)$$

6.2.3 P点で受ける全ふく射量 P点で海面に直角な単位面積が単位時間に受ける熱量は(28)式と(30)式合計となるので

$$I = I_1 + I_2 \quad (31)$$

により与えられる。

なおこれらの式で $X \gg R \gg D$, つまり、受熱点が油面の半径に比べて著しく大きい場合には、

$$I_1 \approx \frac{I_{01}}{2} \cdot \frac{L}{X^2} = B \cdot \frac{DL}{X^2} \quad (32)$$

$$I_2 \approx 2I_0 R \left\{ \frac{1}{2X} \cos^{-1} \left(\frac{R}{X} \right) - \frac{1}{2X} \cos^{-1} \left(\frac{R}{X} \right) - \frac{1}{8X} + \frac{1}{8X} \right\} \rightarrow 0 \quad (33)$$

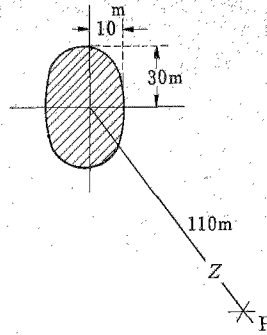
となり、ふく射熱は円筒だけからの量を円筒の断面積について逆二乗の法則で計算したのと同じになり、また円板状のふく射源の全ふく射に対する寄与は、燃焼油面の大きい火災でその縁に近いところで大きく、離れるにつれ著しく減少する傾向をもつ。

6.3 実験値との比較

6.3.1 横浜沖の実験 (1968. 4. 16) ガソリン

3300 l を海面上に流し、海面火災を実現し、第26図のような配置でふく射強度を測定した。その結果は $0.018 \sim 0.019 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ であった。

この状況下におけるふく射強度を上記の方法によつ



第26図 横浜沖実験における油面と観測点の関係

て計算すると、まず $X=110\text{m}$, $R=10\text{m}$ (短辺に当る) と取ってよいので $L=30\text{m}$, $D=3\text{m}$ となり、また $X \gg R$ ゆえ円筒のみを考えればよい。そこで(28)式および $I_{01}=2DB=2 \times 300 \times 1.80=0.11 \times 10^4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ を用いて計算すると

$$I_1 = \frac{0.11 \times 10^4}{2} \left\{ \frac{0.34 \times 10^4}{1.36 \times 10^4} + \frac{1}{1.17 \times 10^4} \tan^{-1} \left(\frac{0.30 \times 10^4}{1.17 \times 10^4} \right) \right\} = 0.055 \left(0.22 + \frac{0.25}{1.17} \right) = 0.023 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

となり、これは燃焼油面の大きさが遠方からの測定で正確でないことを考えるときわめてよく合っていると見える。

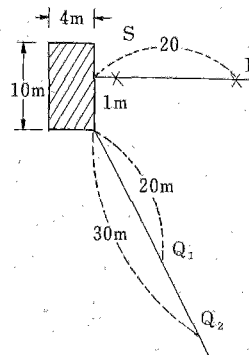
6.3.2 消防研究所の実験 (1964.7) ガソリン 100 l を縦 10m, 横 4m の池に流し、点火後第27図に示す配置によってふく射強度を測定した結果は次のとおりである。

P点 $I=0.065 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$

Q₁点 $I=0.021$ "

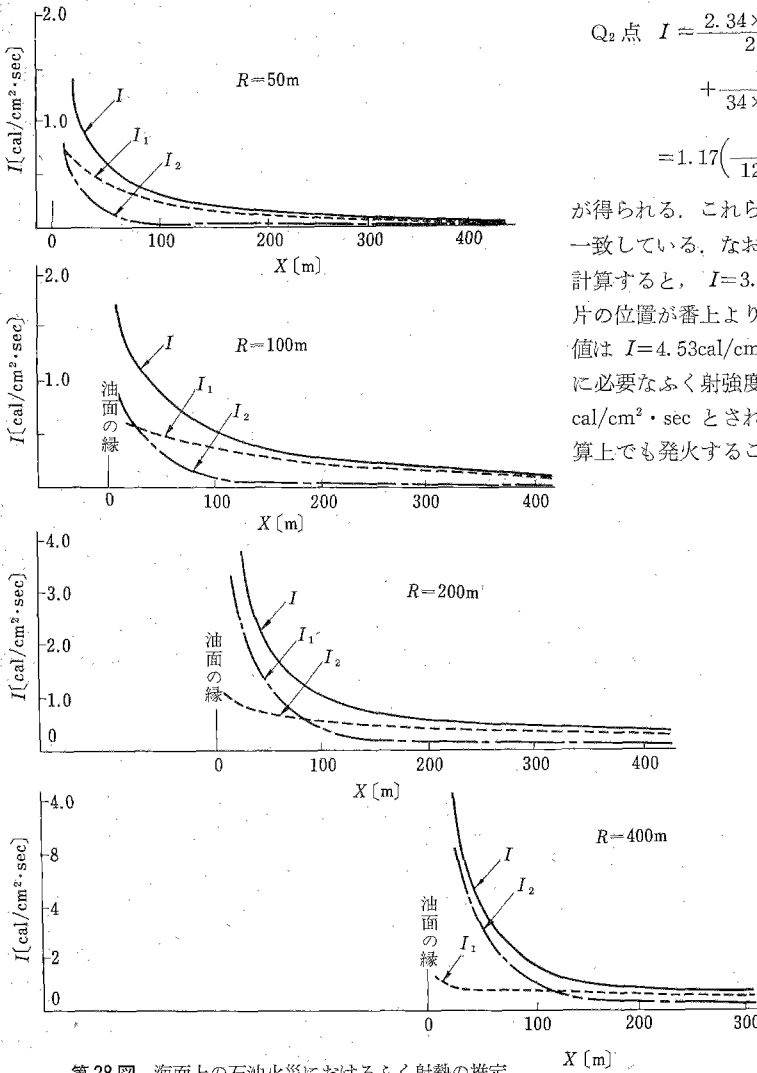
Q₂点 $I=0.011$ "

S点 木材が発火する。



第27図 消防研究所実験における油面と観測点の関係

この状況について計算によってふく射強度を求めると、P点の場合、 $X=20\text{m}$, $D=1.6\text{m}$, $R=2\text{m}$, Q点では、 $X=20\text{m}$ (Q₁), $X=30\text{m}$ (Q₂), $D=0.65\text{m}$, $R=5\text{m}$, また火炎の高さ L は短辺に支配されるゆえ



第28図 海面上の石油火災におけるふく射熱の推定

$L=2 \times 3=6\text{m}$, 輝度はガソリンなので $B=1.80 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ となり, さらに, この場合池には縁があり液面は低いので, 円板状の火災ふく射はさえぎられてP, Q点にはこない. かくて, 円筒状の火災のみを考えればよく

$$\begin{aligned}
 \text{P点 } I &= \frac{5.70 \times 10^2}{2} \left\{ \frac{6 \times 10^2}{((20.4)^2 + 36)10^4} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{20.4 \times 10^2} \tan^{-1} \left(\frac{6 \times 10^2}{20.4 \times 10^2} \right) \right\} \\
 &= 2.9 \left(\frac{6}{452} + \frac{0.26}{20.4} \right) = 0.072 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Q}_1 \text{点 } I &= \frac{2.34 \times 10^2}{2} \left\{ \frac{6 \times 10^2}{(24^2 + 36)10^4} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{24 \times 10^2} \tan^{-1} \left(\frac{6 \times 10^2}{24 \times 10^2} \right) \right\} \\
 &= 1.17 \left(\frac{6}{61^2} + \frac{0.23}{24} \right) = 0.022 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Q}_2 \text{点 } I &= \frac{2.34 \times 10^2}{2} \left\{ \frac{6 \times 10^2}{(34^2 + 36)10^4} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{34 \times 10^2} \tan^{-1} \left(\frac{6 \times 10^2}{34 \times 10^2} \right) \right\} \\
 &= 1.17 \left(\frac{6}{1261} + \frac{0.17}{34} \right) = 0.012 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}
 \end{aligned}$$

が得られる. これらの値は前の実測値ときわめてよく一致している. なおS点におけるふく射強度も同様に計算すると, $I=3.19 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ となり, さらに木片の位置が番上より1mの高さにあるとすると, この値は $I=4.53 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ となる. 一方, 木材の発火に必要なふく射強度は従来の測定結果によると $2 \sim 3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ とされているので, この場合の木片は計算上でも発火することが推定される.

6.4 危険範囲の推定

かくて, ここに行なった計算による推定は実験と一応よく合うことがわかったので, 次にはこれに基づいて燃焼油面の半径が50m, 100m, 200m, 400mの場合につき, 種々の距離における海面上のふく射強度を計算した. 結果は第28図に示す. 図中点線は前記の円筒型火災よりの値, 鎖線は円板型火災よりの値で, 実線は両者の合計である.

ところで, ふく射熱の危険な程度については, 特に判然とした基準はないが, 前にも触れたように木材などの発火は $2 \sim 3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ から起こるので, これは一つの目安となり, さらに人間の皮膚は $0.2 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 程度のふく射にさらされると20秒ぐらい, また $0.4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ では5秒ほどで水泡状の火傷をおうとされているから, これももう一つの危険な目安になるだろうと思う. そこでこのような基準のもとに第28図の結果から危険範囲を推定すると, 石油火災の油面半径が50m程度の場合にはふく射熱は25mぐらいの近くでも繊維物質を発火させるほどのことはないが, 油面の増大に伴い付近は次第に強いふく射を受けるようになり, 半径が400mぐらいになると約100m以内の物質は燃え始め, 400m以内の範囲では皮膚は火傷を負いそうである.

なお, 第28図において距離Xを油面半径Rで割った値で表示すると, 第5表に示すようにふく射量は油面

半径にかかわらずほぼ同じぐらいの値を取るから、もし有機物質の発火を防ぐために必要な距離は油面半径の1/5~1/4(中心から1.2~1.25R), また人間に対してははっきりした火傷を避けるためには油面半径と同程度(中心から2R程度)の距離が必要になることがわかる。この結果は予防措置を講ずる上にはずこぶる便利である。

第5表 無次元距離に対するふく射受熱量[cal/cm²・sec]

X/R R[m]	1/16	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8
50				0.945	0.504	0.270	0.117	0.400
100			1.79	0.889	0.501	0.270	0.119	
200		4.33	1.83	0.975	0.535	0.310		
400	12.6	4.27	1.58	0.944	0.528			

6.5 推定の信頼性

以上海面上の石油火災において周囲のうけるふく射受熱量を計算によって推定することを試み、実際に適用できるいくつかの結論を引き出したわけであるが、これらの計算はかなりの仮定を含むので必ずしもすべての場合にあてはまるというわけにはいかない。その点つぎには本推定の限界について多少の検討しておくことが必要と考えられるが、ここで用いた計算方法の最も大きな欠点は、円筒形火災についても円板形火災についても、本来2次元の問題であるべきふく射源の表面を1次元にしていることで、これは積分が著しく複雑になることを避けるために用いた止むをえない手段ではあるが、厳密さをきわめて低下させている。その結果として、この計算が信頼できるのは火災から離れた位置における値であり、火災に近づくと計算精度が著しくおちてくることは否めない。そこで、本計算ではこの点少しでも安全側の結果を得るために円筒形火災面の位置を外周に断面積だけのふく射源があるとするなどの手を打っているが、いずれにしてもこれらは本質的に前記の欠点を補っているわけではないので、火災の近傍における値ははっきりいって信用がおけない。しかし、他の点は多くの近似は含まれるにせよ一応我慢できるものと考えられ、また実際に必要なものは離れた位置におけるふく射受熱量であろうから、ここに記した推定法および結果は実用的に十分な価値があるものと考えられる。なお、ここでは風の影響は考慮していないが、規模がこのぐらい大きくなると、少々の風は火災の形状に大きな影響はないと思われるので、それほど重要ではないように思う。

7. 危険円とその適用

7.1 仮定

2. で述べたように、流出した原油が発火して、海面

火災を生じる場合を想定すると、その火災が陸上の人口密集地帯や、重要施設に延焼その他の被害を与えないために、必要な離隔距離として危険円を考える必要がある。船が問題とする場所の近くで衝突を起こし、大量の油を流出するという確率は非常に小さいけれども、いったん事故を生じれば、相当量の油が流出することは事実で、期待値のように、流出する油の量に確率を掛けるわけにはいかない。

そこで危険円としては、常識的な一定の確率以上の確率で起こるような規模の事故を考え、そのときの流油量を仮定することにより、絶対量として定義する必要がある。以下そのための仮定を述べる。

- (1) 1・1 で検討したように、座礁の方が多くの区画に損傷を受ける可能性があるが、油の流出速度が緩慢なので、衝突で急激に油が流出した方が、危険範囲は広がると考え、衝突の場合について危険円を考える。
- (2) 衝突の場合、外側に面した相隣二つのタンクが同時に破れることはあり得べきことなので、種々の組合わせで相隣二つのタンクの合計容量を計算して、そのうち最大のものを流出油量と考える。水面下の部分の油は水面上の部分に比べて、流出速度が小さいと考えられてきたが、3. に示すように、堅長の穴では、かなり流出速度が大きいので、二つのタンクの全量が流出すると考えた。この量は、現存するタンカーでは30000m³が最大である。
- (3) 消防の効果は一応考慮しない。
- (4) オイルフェンスなどによる油の拡散防止の対策の影響は一応除外する。
- (5) ガスの滞留は、風速が小さいほど条件が悪い。原子炉の場合、放射性ガスの拡散の計算は、風速1m/secで行なっているが、今の場合ガスの存在する場所が低いと、問題になる時間が短いので、安全側をとって0.5m/secとした。

7.2 危険円の定義

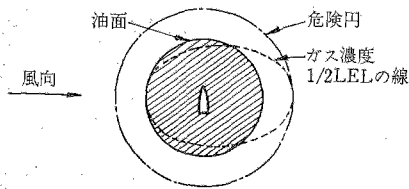
危険円は本来、海面火災が陸上の人口密集地帯に延焼することにより予想外の大きな災害になることを防ぐための離隔距離として考えられたが、もう少し広く解釈して引火の危険性、火傷の危険性あるいは石油ガスによる中毒の危険性をも含めて考えてみる。

結局危険円はそれぞれの危険性の要因に対する必要離隔距離として定義されるわけで、どの定義の危険円を用いるかは、現在考えている場所の立地条件により適当に選ぶことができる。

- (1) 引火の危険性より定義した危険円 R_F 5. に述べたように、海面に広がった油面から蒸発したガスは、ガス雲を形成して風下側に希釈されながら移動し

ていく。したがって、風下側には油面から外側のある距離まで、爆発下限界以上の濃度のガスが数 10 分程度存在する。この範囲に着火源があると、爆発を起こし海面火災を発生するものと考えられる。

今は計算の仮定があることを考慮し、安全側として爆発下限界の 1/2 以上の濃度のガスの存在する範囲を危険円と定義し、その半径を R_B とする。実際にはガス雲は風下側のみになんか引くので危険範囲は円ではないが、事故のときの風向きがどの方向であるかはまったく予測できないので、最大の距離を半径とする円を危険円とするわけである (第 29 図)。



第 29 図

(2) ふく射熱より定義した危険円 R_C , R_T 海面火災が発生すると、その範囲は最大でも油面の広がり範囲であろう。この場合火災のふく射熱によりある範囲のところ (半径 R_C) では固形有機物の引火の危険が生じ、またある範囲のところ (半径 R_T) では人体に火傷を生ずる危険が生ずる。その範囲については 6. に述べてあるが、このようなふく射熱より定義した危険円が当然考えられ、陸上の人口密集地帯に影響を及ぼさないという本来の危険円の趣旨に最も合致したものといえよう。

(3) ガス中毒の危険性より定義した危険円 R_T 油面から蒸発したガス雲が人口密集地帯を覆う場合、火災には至らないとしてもガスによる中毒の危険がある。久我正男氏によればガス濃度 0.5~1.5% の範囲では、1~2 時間でもかなり重い中毒症状が現われ、1.5% の場合は 4 時間以上吸入すれば死亡することもありうる。爆発下限濃度 (LEL) は 1.2% であるから 1/2 LEL 程度が重い中毒症状を起こす限界の濃度と考えられ、危険円の一つの定義になりうる。この半径を R_T とする。

なお、1/2 LEL 以下の濃度では、ガスの滞留する可能性のある時間 (1~2 時間) では重い中毒症状は現われないが、臭いが強いため待避などの必要を生ずることは考えられる。まったく人体に影響のない濃度は 1/5 LEL であるといわれるが、タンカー事故の確率がきわめて小さいことや、待避により十分避けられることを考えると、そこまで離隔距離をとる必要はないと思われる。

(4) このほか煙による被害が考えられるが、その範

圍程度については今回は調査を行なわなかった。今後考慮すべき問題であろう。

7.3 危険円の大きさ

7.2 の定義に基づいて、油量 6 000 m^3 、10 000 m^3 、および 30 000 m^3 の場合につき、危険円を計算してみると、第 6 表のようになる。なお油量 6 000 m^3 はほぼ 50 000 DWT クラスのタンカー、10 000 m^3 は 80 000~100 000 DWT 程度、30 000 m^3 は 150 000~250 000 DWT クラスのタンカーに相当する。なお括弧内の時間は最大の半径となる時間を示す。

以上をまとめてみるとだいたい次のようになる。

油面半径 R_0

引火の危険円 (1/2 LEL の範囲) $R_B \approx 2R_0$

(LEL の範囲をとると 1.1 R 程度である)

中毒の限界 (1/2 LEL の範囲) $R_T \approx 2R_0$

ふく射熱による有機物の発火限界 $R_C \approx 1.25R$

ふく射熱による人体の火傷の限界 $R_I \approx 2R_0$

これよりみて最も範囲の狭いのはふく射熱による有機物の引火限界から定義される危険円 R_C であり、ガス爆発の限界 R_B 、中毒の限界 R_T 、人体の火傷の限界 R_I などはいずれも同程度でほぼ $2R_0$ である。

なお(3)に述べた人体にまったく影響のないといわれるガス濃度 (1/5 LEL) の範囲は、ほぼ $3R_0$ に相当する。これは危険円というより、むしろ事故の際の待避の必要性などの判断の資料として用いられるべきものである。

7.4 危険円の適用例

危険円を実際に適用する場合には大体次の諸点を原則的な方針としてとることを提案する。

- (1) 問題とするタンカーの相隣る二つのサイドタンクの合計容量のうち、最大のものを取り $V_0 [m^3]$ とし、次式により R_0 (1 時間後) を計算する。

$$R_0 = \{\beta(\delta_0 - \delta_g)^3 V_0^3\}^{1/8} \quad [m]$$

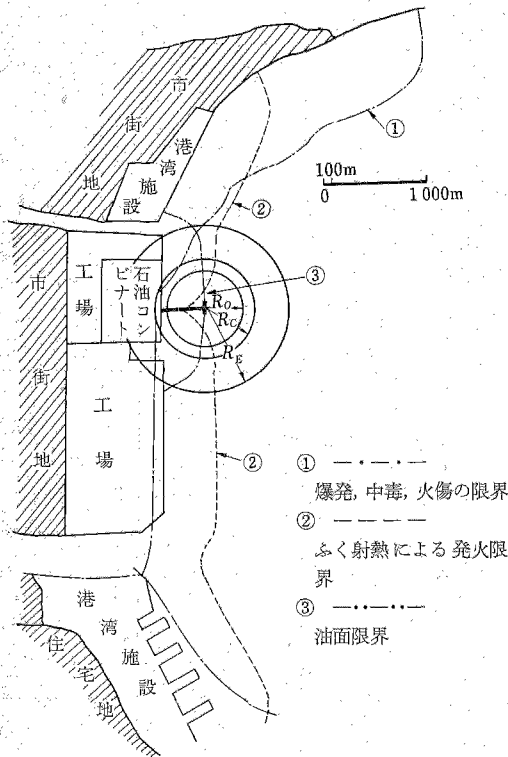
ただし、 β : 1.82×10^{11} , δ_0 : 海水比重,

δ_g : 油の比重

- (2) 市街地および人口密度の高い住宅地の海に近い境界から $R_B = R_T = R_I = 2R_0$ の限界線を引く。これを①で示す。
- (3) 工場、港湾施設等の海に近い境界から $R_C = 1.25R_0$ の限界線を引き②で示す。
- (4) 常設の消火装置 (たとえば石油コンビナートの撤水装置など) のあるところでは、施設の限界から R_0 の所に限界線を引き③で示す。
- (5) 以上の①②③のうち陸より最も離れたものを連ねて限界線とし、問題のタンカーはその線より内側に立ち入ることを禁止する。したがって、ドル

第6表 危険円の大きさ

流出油量 [m ³]	風速 [m/sec]	油面半径 R _o [m]	引火の危険円 R _E =1/2LEL	中毒の危険円 R _T =1/2LEL	ふく射熱の危険円	
					発火	火傷
6 000	0.5	(60分後) 330	(70分後) 660	(70分後) 660	410	660
	2	"	(10"") 330	(10"") 330		
	8	"	"	"		
10 000	0.5	(60分後) 420	(120"") 740	(120"") 740	530	840
	2	"	(20"") 420	(20"") 420		
	8	"	"	420		
30 000	0.5	(60分後) 640	(120"") 1 000	(120"") 1 000	800	1 280
	2	"	(20"") 680	(20"") 680		
	8	"	640	640		



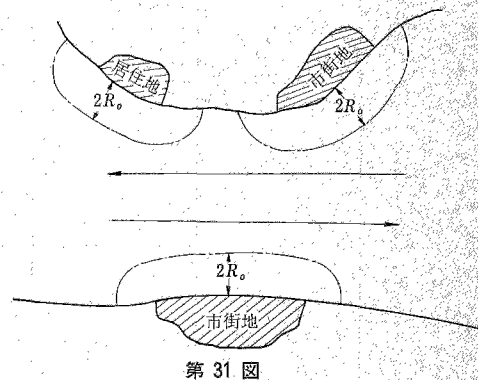
第30図 危険円適用の例

フィンなどはその限界線の外側に設けることが望ましい。

一例として第30図に模型的な港湾について、8万トンのタンカーの立入り限界線を示す。なお(4)の条件は、油面が岸壁でせき止められて、それ以上中にはいらないことを考えると、必ずしもR_oだけの隔離は必要でないかもしれない。しかしながらその場合岸壁でせき止められて変形した油面の境界が他の

陸上施設に1.25R_oより近づかないような配慮が必要であろう。

また狭水道について模型的に適用例を示すと第31図のようになる。



以上は一応の原則として提案されたもので、実際に用いる場合には、消防設備の優劣や、油の拡散の防止装置の有無、あるいは衝突事故を減ずるための措置が取られているかどうかによって、隔離距離を修正する必要がある。

たとえば、石油コンビナートと隣接する工場との境界に、撤水装置を設置するか、防油堤を設けて、工場側に油が広がるのを防ぐなどの手段が講じてある場合には、隔離距離を減じうる。

また狭水道で、両方の居住区から2R_oの隔離距離を取ると、船の通行する余地がなくなるような場合もありうる。このような場合、なんらの措置もしなければそのタンカーは通れないはずであるが、航行規則により行きあい船を止めるとか、ひき船がつきそうとかの措置をして、衝突の可能性を普通起こりうる程度から格段に下げれば航行を許すことが可能である。