

簡易型煙拡散モデル (ALOFT-PC) による 大規模火災時の煙拡散性状予測

正会員 ○ 山田常圭

1. はじめに 阪神大震災時に発生した市街地火災では、大量の煙が広域に拡散した。こうした煙は、外気・地形条件によっては避難や消防活動の障害となる他、健康安全上も懸念される。また都市火災に限らず、大規模石油タンク等の大規模火災発生時、大量の煙が周辺へ及ぼす影響を事前に予測することは、広域避難計画等、安全対策上重要と考えられる。大気中の煙の拡散に関しては、工場等から排出される煤煙の拡散問題として過去に研究され予測モデル[1]も開発されている。しかしながら大気拡散モデルが主体で、大規模火災時のように発熱量が大きく浮力効果が高さ数百mにも及ぶ煙の拡散現象には適用できない。米国商務省標準技術研究所/建築火災研究所 (NIST/BFRL) では、大規模原油火災を対象とした煙拡散性状の予測プログラム (ALOFT) を開発し、その妥当性の検討を行ってきており、市街地火災等への適用も期待されている。消防研究所は、平成10年1月に北海道苫小牧市で(財)危険物保安技術協会等と共同で直径5~20mタンクの大規模原油火災実験を行う機会を得た。また本実験に関連しNIST/BFRLと共同して、実験結果と予測結果の比較によるALOFTモデルの妥当性の検討を行ったので、結果の一部を報告する。

2. 予測モデル概要 今回用いたプログラムはALOFT-PC (Ver.3.04) でPCのWindows95上で動作する。ALOFTは本来WS用に開発された3次元(図1)定常解析用CFDプログラムである。PC版も計算セル数が制限($X \times Z: 256 \times 64$)され、風速分布が均一である等制約はあるがソルバー部に本質的な差はない。以下、計算の主な特徴を示す。詳細は、文献[2][3]を参照されたい。

- 1) プリウム計算は非圧縮性、Boussinesq 近似を仮定。乱流モデルは使用していない。燃焼は考慮せず。
- 2) 風下方向への風速は外部境界条件として与え単純化

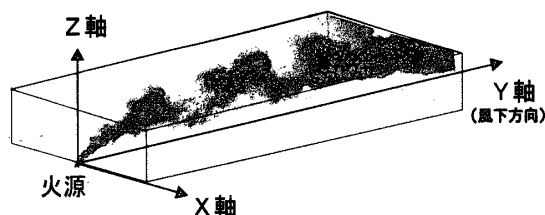


図1 煙拡散シミュレーションの座標軸

し、3次元定常計算を、風向に直交する面(図1中、XZ面)の風下方向(y)への非定常計算と置き換えて計算。数値計算は差分法を使用。

- 3) 煙濃度等燃焼生成物の拡散の時間平均値は、Lagrangian random perturbation algorithm による。
- 4) 地表・海面での境界条件はFree Slip。

ALOFTではグラフィックユーザインターフェース(GUI)が整備され入力容易である。主な入力項目は以下のとおり。

- ・火源条件: 火源面積を入力。燃焼速度等は原油種データベース化(表1)されている。

- ・気象条件: 大気温度・温度勾配・風速、大気の安定性(Pasquill-Giffordの安定性のカテゴリ)を入力。

3. 原油燃焼実験と煙拡散性状予測

原油火災実験は、直径5m, 10m, 20mのタンクで行われ燃料にアラビアンライト原油が用いられた。各実験の燃焼時間は約20分であった。そのうち2m/秒以上の安定した外気風が観測された10mタンク火災の2実験を対象に予測モデルの妥当性検証のため計算を行った。

(1) 実験・計算条件、観測方法等: 煙の拡散状況は、ヘリコプターによる空中および苫小牧東港内シーバースからビデオ、カメラで撮影した。相互の位置関係は図2に示す。外気条件として火源北東約1.5kmにある発電所での地上及び地上185m煙突部での観測値をもとに、図中の値を与えた。また、火源入力として、液面降速度測定値より推定した燃焼速度 0.06kg/s/m^2 に近くなるよう表1中のLouisiana原油の値を採用した。

(2) 実験と予測結果の比較: 図3は、10mタンク燃焼

表1 計算入力データ例 (火源条件)

項目	原油の種類	
	Alaska North Slope	Louisiana
燃焼速度*1 (kg/s/m^2)	0.051	0.056
発熱速度*1 (MW/m^2)	1.76	2.14
輻射による失熱*2 (%)	0.10	0.10
燃焼生成物発生量 (共通: g/kg)		
PM10*3: 130.0	PM2*3: 82.0	CO ₂ : 2,810.
CO: 30.0	SO ₂ : 3.0	VOC*4: 5.0

※注) *1 燃焼・発熱速度は火源単位面積あたり。

*2 失熱は発熱速度に対する割合

*3 PM##は、粒子径が## μm 以下の煙粒子

*4 石油系揮発成分 (Volatile Organic Compounds の略)

Prediction of Smoke Dispersion from Large Fire by a Large Open Fire Plume
Trajectory (ALOFT) PC Model

YAMADA Tokiyoshi

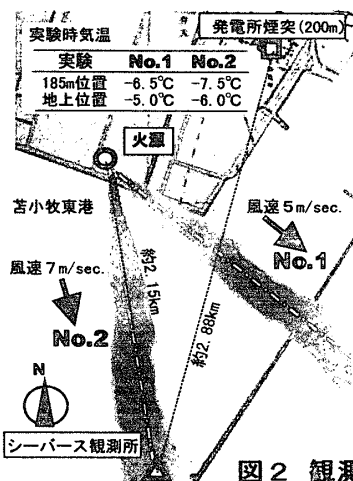


図2 観測地点と火源・煙方向

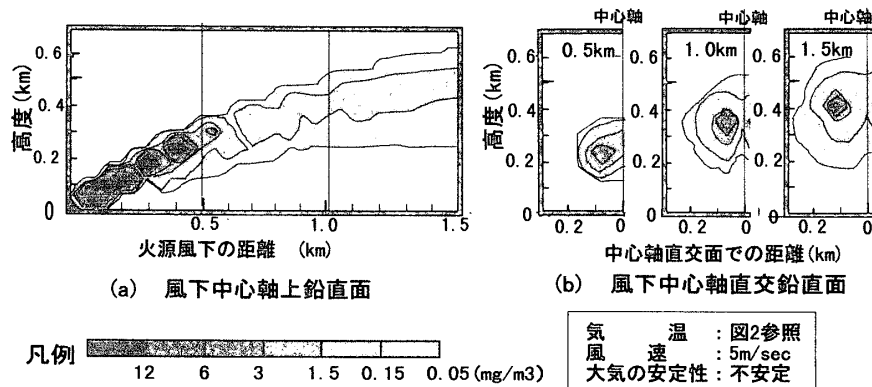


図3 等濃度(PM10)分布図 (10mタンク実験No.1)

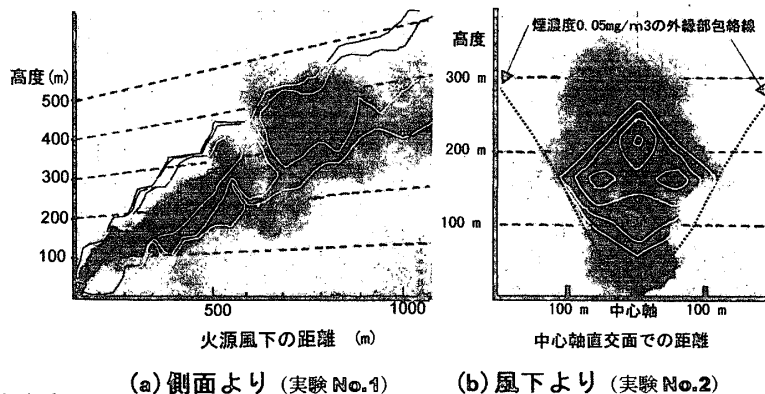
表2 煙濃度と環境上のカテゴリー

評価	清浄	軽度発塵	中程発塵	高度発塵	危険度発塵
mg/m ³	0.15 *1 ~1.5	1.5 ~3	3~6	6 *2 ~12	12 以上
個/cc	100 以下	100 ~200	200 ~400	400 ~800	800 以上

※注：表中のカテゴリーは大気粒状浮遊物に関する建築空間での目標値。個数と濃度の換算は、1mg/m³を約70個/ccとして換算 *1 建築基準法施行例第129条2の2による室内基準値。米国環境庁(EPA)大気環境基準値(NAAQS)24時間暴露許容値 *2 我国の大気許容限界値

時の実験No. 1の風下中心軸上のYZ平面および直交するXZ面上での煙の濃度(PM10)の等濃度図を示したものである。煙濃度と環境上の意味は表2に示す。予測結果ではY軸を中心に左右対称な渦を有する二軸のトラジェクトリが形成される点が大きな特徴である。写真は観測地点からの煙の拡散状況を示したもので、写真中の空間座標は、観測地点と火源位置、右手煙突の位置とその高さ(200m)をもとに遠近法で示したYZ、XZ鉛直面である。写真(a)による煙の拡散状況は、風下900mで到達高さ450m内外と予測値が観測結果と比べ多少高めではあるが、平均的に概ね現象を再現している。一方火源近傍、風下約500m以内では計算セルの影響が現れており、この領域での煙拡散予測には限界があると考えられる。また、風向と直交する面での煙の拡散状況も500m付近で予測値と観測結果はパターン、拡散幅も比較的良好一致を示している。

4. まとめ 大規模火災時の煙拡散性状の予測モデルALOFT-PCを用い、大規模実大実験での煙拡散予測を行った。その結果火源風下約500m以遠の領域で、煙の到達高さ予測値は、実験結果とほぼ一致することが判った。なお実験においては、風の変動、垂直方向の風速・温度分布の急速な変化により煙の拡散状況が時々刻々変化することが目視観測で認められた。



(a)側面より(実験No.1)

(b)風下より(実験No.2)

写真 煙の拡散状況 (沖合約2.1kmのシーバースより撮影。図中のコンターは、等濃度線図で(a)は図5(a)に対応、(b)は火源風下500m位置での鉛直断面での濃度分布。点火後各々約5分30秒、約2分後)

精度の高い予測、モデル検証のためには、こうしたきめ細かいデータを反映させることが必要であると考えられる。今回は石油タンク火災を対象としたが、市街地火災のような無次元発熱量Q*の小さな大規模火災時の煙拡散への適用可能性については今後の課題である。

【参考文献】

- [1] 例えば R.B.Wilson, "Review of development and Application of CRSTER and MPTER models", *Atmospheric Environment*, 27B:41-57,1993
- [2] W.D.Walton, K.B. McGrattan et al., "ALOFT-PC A Smoke Plume Trajectory Model for Personal Computer", *Artic and Marine Oilspill Program Technicall Seminar*, 1996,Calgary, Alberta,Canada 19th, Vol.2
- [3] K.B.McGrattan,H.R.Baum et al., "Smoke Plume Trajectory from In Situ Burning of Crude Oil in Alaska --Field Experiments and Modeling of Complex Terrain", *NISTIR*, 5958,1997

謝辞： 今回の苫小牧での原油燃焼実験では本文中に述べた以外に多くの組織・研究機関が参加し遂行できた。特に関係消防機関、陸上自衛隊、苫小牧東部石油備蓄(株)、石油公団には多大な協力を頂いた。また、NIST/BFRLのH. Baum博士らにプログラムの提供、助言を頂いた。ここに記して感謝いたします。