

## クウェートの油井火災の大気への影響とその対応を評価する

### 第2回 WMO 専門家会議の報告\*

大喜多 敏 —\*\*

上記の会議が WMO と UNEP の共催で1992年5月25日～29日にジュネーブの WMO 事務局で開催された。会議の出席者は約50名で、その半数は米国の研究者で、次いでサウジアラビア、クウェート、イラン、バーレンの湾岸諸国及びオランダ、ドイツ、フランスなどの欧州諸国、インド、パキスタンの油井火災の影響が及んだと思われる国々の研究者が参加した。我が国からは国立公衆衛生院の溝口次夫部長と筆者が出席した。

クウェートの油井火災及びその規模・影響については色々な報道が飛びかったが、WMO, WHO, UNEP の関係者が一堂に会した本会議の結果は、その全貌を知る上で大いに参考になるものと思われる。本会議の圧巻は、Hobbs と Radke の発表した米国の航空機調査の結果であった。

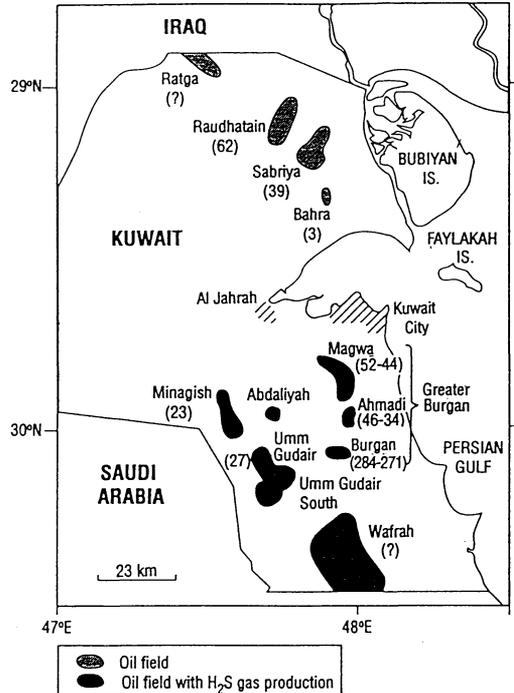
油井火災は1991年2月下旬より始まったが、初期には600ヶ所以上の油井が燃えており、一日に500万バレル以上の原油と7000万 m<sup>3</sup> 以上のガスが燃えたといわれる。各油田と燃烧油井数を第1図に示した。また破壊されたが着火せず、油だけを噴出した油井も約80ヶ所あった。

会議は、I 発生源の性質、気象測定、大気成分測定、II 煙分布の予測モデル、III 各種データの取纏めの順に進行した。

会議の主題を次に述べる。

#### 1. 航空機観測

油火災煙の観測は地上及び航空機でなされたが、航空機データの内圧倒的に多くは米国によるもので、4研究所で航空機調査がなされた。その他に英国、ドイツがそれぞれ航空機調査を行なった。その中でもワシントン大学と NCAR が1991年5月16日～6月12日に



第1図 クウェートの主要油田の燃烧状況 (Hobbs and Radke (1992) による) 括弧中の第1の数字は1991年5月16日、第2の数字は1991年6月12日の燃烧油田数、燃烧油田数に変化がない場合は1つの数字だけである。

行なった共同研究が大きな貢献となっている。

この調査結果は最近の Science 誌上 (Hobbs and Radke, 1992) にも記載されているので、ここでは主要な結論のみを述べる。

航空機調査によれば煙は約 6 km の高度以上に上昇することなく、主として北西の風に乗る、ペルシャ湾南岸上空を流れた。煙底高度は 0.5～2 km で、筆者も確認したように煙底は平らである。また Hobbs and Radke (1992) に記載されているように、筆者も火災現場付近では油の雨 (oil rain) にあい、衣服が油臭くなった。この点については第3節でも述べる。

\* Report on the Second Meeting of Experts to Assess the Response to and the Atmospheric Effects of the Kuwait Oil Fires.

\*\* Toshiichi Okita, 桜美林大学国際学部。

煙には黒煙と白煙及びそれらが混合した合成煙がある。当初筆者は白煙は水蒸気によるものかと思ったが、そうではなく、白煙をもたらず成分の80%は油井から噴出する塩水に含まれる NaCl を中心とする塩分であった。筆者らの測定でも煙に含まれる粒子状物質内に Cl の高濃度がみられた。他方黒煙には最高48%迄の煤の含量が示された。各油井の合成煙中の成分は、塩分30%、煤15~20%、 $SO_4^{2-}$  8%、有機物30%であった。また煙粒子中には直径 0.1~0.3  $\mu m$  をピークとするサブミクロン粒子が多かった。煙の周辺では光化学反応に基づく約 0.01  $\mu m$  の微小粒子の生成がみられた。直径 3.5  $\mu m$  以下の煙粒子の濃度は、クウェート市の 160 km 下流で 210  $\mu g/m^3$  であった。

煙の単一散乱アルベードは白煙、黒煙、合成煙で各々 0.95, 0.35, 0.5-0.6の値で、火災域より 100 km 離れた地点における光学的厚さは 2~3 の値を示し、その場合煙の最厚部分で日射の透過率は約10%、吸収率は 75~80%となる。

ガス状物質の濃度の一例として、5月30日のクウェート市の下流 80 km の煙中の CO,  $SO_2$ ,  $NO_x$  の平均濃度は各々 127, 106, 9.1 ppbv であり、 $O_3$  の平均生成速度は 1.8 ppbv/hr であった。非メタン炭化水素の濃度は 55~827 ppbv で、その中アルカン65~82%、アルケン7~23%、芳香族 5~19%であった。

調査期間中の  $CO_2$ , CO,  $SO_2$ , 煤, 全粒子の全発生量 (トン/日) は各々  $1.8 \times 10^6$ ,  $1.0 \times 10^4$ ,  $2.0 \times 10^4$ ,  $0.34 \times 10^4$ ,  $1.2 \times 10^4$  と推定されている。その結果観測時の油の燃焼速度は 1日当たり  $(4.6 \pm 1.2) \times 10^6$  バレルと推定された。

## 2. 航空機調査, 地上観測より得られた煙の状況と環境への影響についての総合的判断

航空機調査は第1節で述べた Hobbs ら以外に米国バテル北西太平洋研究所, 英国気象局, ドイツゲーテ大学, 米国エネルギー庁によって行なわれた。また地上観測は米国, フランス, 日本, ノルウエー, サウジアラビアなどのチームによって行なわれた。その結果は次のようにまとめられた。

### (1) 煙中濃度の解釈

煙中では粒子状物質のピーク濃度は米国労働衛生研究所 (OSHA) で定めた作業場での 8時間最高基準濃度を超えるが、 $O_3$ ,  $NO_2$ , CO のピーク濃度は OSHA 基準を超えない。 $SO_2$  濃度は時々基準を超える。但し煙は地表より離れているので、以上の条件は地表では

起こらず、上空でのみ観測された。

煙は発生源から 600 km 以内では光化学的に活性でない。クウェートより 1000 km 以上下流の煙内では  $O_3$  濃度は米国大気環境基準 120 ppbv を超えるが、地域的な高濃度オキシダントが生ずる模様はなく、まして広域の地上の人々に影響を与えることはないだろう。

### (2) 急性的な人体への影響

全粒子状物質濃度や PM10 (直径 10  $\mu m$  以下の粒子)の濃度は米国の大気環境基準値をしばしば超過し、またクウェート市の南西 400 km にあるダーランでの濃度がクウェート市での濃度より高いことが多い。またクウェート, サウジアラビアでの  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO,  $O_3$  の地上濃度は米国の大気環境基準値を超えない。以上を総合して、WHO の Dr. Mage より、1952年に高濃度の煤と硫酸化物により4000人以上の死亡者を出したロンドン事件との比較に基づいて、今回の油火災の特徴として、粒子状物質の濃度が高かったが、 $SO_2$  濃度が低かったので、今回の大気汚染による死亡率は零に近いとの推定が述べられた。また航空機, 地上観測データのいずれも  $H_2S$  濃度は非常に低いことを示した。

### (3) 慢性的な人体への影響

煙および大気環境に含まれる多環芳香族炭化水素や金属 (Ni, Cr, V, Pb) の濃度は米国, 西欧, 日本の都市・工業地域と同程度であり、その変異原性 (大腸菌などに突然変異を起こさせる性質) はそれ程強くない。

### (4) 生態系への影響

アラビア半島では空気や土壌中に炭酸カルシウムなどのアルカリ性物質が存在するため、火災によって生じた硫酸などの酸性物質による土壌の酸性化、ひいては生態系への悪影響は生じない。また土壌中の Ni, Cr, V, Pb が酸性雨のためにイオンとなり、土中に浸透して地下水を汚染することはない。

イランの研究者より、イランでは酸性雨が増加したとの報告がなされたが、統計的に有意か否か、また地下水や植生に影響があったかどうかは現時点では分からない。

クウェートよりサウジアラビアまでの広域にわたり、土壌表面と植生が煤や油ミスト (重油が未燃のまま霧状となって降下したもので覆われた。その結果、その地域固有の植生がひどい障害を受け、植物は種子を生じない可能性がある。

### (5) 地域的、局地的な気候影響

火災地点より 1000 km 以内の範囲で、煙の幅は 15 ~150 km で、その地域での日射、視程、気温がかなり低下した。気温低下は一部の地域では 4°~8°C に及んだものと思われる。しかしその生態系などへの影響ははっきりしない。

### (6) 地球規模の影響

先にも述べたように、湾岸域では煙の高さは 6 km 以上にならなかった（しかし米国では圏界面付近に迄達しているという報告がある。例えば Desher and Hofmann, 1992）。いずれにしても以前に心配されたように煙が成層圏に流入することはなかった。また核の冬の計算で予想された石油燃焼による煤の排出係数 3 ~10% は高過ぎるようで、今回の実測では平均 0.3~0.6%、大きな油火災でも 1.6~2.8% とかなり小さく、修正されなければならない。さらに煤に硫酸塩が付着すると凝結核として働き易くなるため、降水として大気より除去され、滞留時間が短くなる。インドのモンスーン、中国の大雨との関係も討議されたが、インドの研究者より関係はなさそうだとの報告が出された。

火災による CO<sub>2</sub> の発生量は 1991 年 6 月には世界の全発生量の約 2% である。

## 3. 未解明な点

### (1) 油火災による硫黄発生量

サウジアラビアと米国の共同測定によれば、油井火災より発生して SO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub> となった大気中の硫黄の総量は排出した油の総量に硫黄含量を掛け合わせた量の 1/5 にしかなかった。この点については、筆者らの調査では油の野外燃焼では重油成分は燃えず、大気中に拡散された後油の雨として降りそそぎ、その中には硫黄分の 83% が含まれるという結果 (Okita *et al.*, 1993) が得られており、この現象で大気中の硫黄分が少ないことを説明できることを示した (第 1 節参照)。

(2) 油井火災以外の発生源からの汚染物の煙に対する相対的寄与率

サウジアラビア東部海岸域の工業地域からの排煙の寄与が考えられる。

(3) 地表に沈着した油の揮発による揮発性有機化合物 (VOC) への寄与

### (4) 非火災油井からの煙中の H<sub>2</sub>S 濃度

非火災油井よりかなりの H<sub>2</sub>S が放出されることが予想されたが、野外測定では全く検出されなかった。

### (5) 他の発生源からのエアロゾル

軍事行動のなされた地域で舞い上がった土壌粒子が煙中に加わることが予想される。

### (6) 煙中の硫黄の化合物形態

地表での測定によれば、粒子状硫黄の 20% の化合物形態が不明である。

## 4. 煙分布の予測モデル

今回の事件に用いられたモデルは計算領域が最小 30 km 規模の局地モデルより、北半球モデルまで 15 種あった。これらのモデルを適用する上での最大の難点は、発生源強度、汚染物の物理化学的性状、風などの輸送・拡散に影響するパラメータが不足したことである。今回クウェート市周辺に地上気象観測網が設置され、NOAA の HARM モデルに接続されて、クウェート市にある計算機で風場を計算した。

なお油井火災期間中長期間にわたり運用されたものは次のモデルである。

### (1) オランダ気象研究所の KNMI/RIVM モデル

3500×3500 km<sup>2</sup> の地域上の煤煙濃度の垂直方向積分値が日単位で予測された。

(2) Lawrence Livermore National Laboratory の Atmospheric Release Advisory Capability (LLNL/ARAC) モデル

1991 年 5 月 12 日~6 月 16 日、7 月 26 日~8 月 20 日 (USA/NSF (米国科学財団) 航空機観測時) の煙粒子濃度やその光学的厚さを 1 日 2 回予測する。

(3) WMO が健康に対する警報を出すために用いる NOAA の HY-SPLIT モデル

湾岸域の SO<sub>2</sub>、煙の分布予測データが 1 日 2 回自動的に 15ヶ所の国際機関にファックスで送られた。同時に衛星データから解析された煙の分布図も送画された。

この地域では Shamal 風という北西からの風が卓越したが、この風によって輸送される汚染物予測の分布は衛星画像による解析と一致した。

モデルにはさらに小循環、煙層の光学的作用、汚染物の沈着、化学変化などが付加されなければならないが、それらを考慮したものはほとんどない。またこれらの過程を導入してもモデルを検証する観測データはほとんどない。

## 5. データの保管

地上・航空機観測によって得られた膨大なデータを

まとめて各国の緊急時対応・モデル計算の検証などに用いるため、データの集積・管理を米国の NCAR やクウェートの Kuwait Institute of Scientific Research (KISR) で行なう予定となっており、その説明がなされた。また本データは大学や大学院の学生の訓練にも有効であるとの意見が述べられた。

各国の人々がデータを容易に入手出来ること、データの質についての情報、二次的なデータ保管やデータ移送の問題などが残されている。

## 6. まとめ

原子力関係の事故とそれに伴う放射性物質の拡散については、国際的な監視体制が整備されているが、今回のクウェート油田火災などの大災害に対する国際的な枠組がなかったこともあって、世界の対応が後手にまわったことは否めない。我が国でも測定車や後続測定者の現地到着が火災が消えた後になってしまったのは残念である。

以上の苦い経験をふまえ、WMO では将来の災害発生時の資金や人々の流れがスムーズに運ばれるよう、次のような提案をしている。

- (1) 災害地にまず少数の各分野の科学者や事務担当者の一群を派遣する。
- (2) 国連の緊急時対応当局との接触をはかる。
- (3) 500万ドル程度の緊急時の臨時費を得るため、幾つかの拠出国との接触をはかる。
- (4) 災害の影響を調査するための、人工衛星、航空

機、測定車、移動可能なデータ収集装置、モデル技術、実時間通信装置に関する情報を獲得する。

以上の構想を固めるための、専門家や関係機関との小規模会議を提案している。いずれにしても、本会議は資金だけを出して人的貢献の少ない国の参加者が肩身の狭い思いをする場ではあった。また突発災害への対応は時間との競争であることを思い知らされた時でもあった(筆者の個人的な経験であるが、WHO の Dr. Mage が各国の貢献について述べた内容中に日本の名が出てこなかったのも、彼に問い合わせた所、資金提供は感謝するとの返事があった。即ち資金提供は話題にもならぬことを思い知った)。

## 参考文献

- Deshler, T. and D. J. Hofmann, 1992 : Measurements of unusual aerosol layers in the upper troposphere over Laramie, Wyoming in the spring of 1991 : Evidence for long range transport from the oil fires in Kuwait, *Geophys. Res. Letters*, 19, 385-388.
- Hobbs, P. V. and L. F. Radke, 1992 : Airborne studies of the smoke from the Kuwait oil fires, *Science*, 256, 987-991.
- Okita, T., M. Yanagihara, K. Yoshida, M. Iwata, K. Tanabe, and H. Hara, 1993 : Measurements of air pollution associated with oil fires in Kuwait by a Japanese research team, *Atmos. Environ.* に掲載予定。