

## 高圧ガスの地震被害拡散予測に関する研究

1. はじめに
2. 危険物の現状
3. 有毒ガスの特性
4. 拡散予測手法
5. 拡散シュミレーション
6. おわりに

三 森 友 彦\*  
鈴 木 浩 平\*

## 要 約

地震列島日本を象徴するかのようには、1993年には、巨大地震があいついで発生した。1月15日釧路沖地震：M7.8、2月7日能登半島沖地震：M6.6、さらに7月12日北海道南西沖地震：M7.8と続き、それぞれに大きな被害を残した。いずれの地震も大都市、大工業地帯から離れた地域で発生しているので、危険物等の漏洩拡散による大きな被害は報告されていない。釧路沖地震の際にはアスファルトの流出が見られたほかは、魚油等の少量漏洩が報告されているのみである。北海道南西沖地震では、奥尻島の奥尻町で漁船用燃料の屋外タンクが破損し、漏洩した燃料の一部が防油堤を越えて港内に流出した。また道内の大成町久遠地区では屋外タンクが被災したが内容物の漏洩は発生しなかった。それ以外にも危険物施設関係の被害がみられたようであるが、1993年10月の時点では詳しい報告はない。

工業地帯に限らず人間の定住する地域には必ず何らかの危険物が存在している。平常時には密封され、管理されているこれらの危険物も、地震により容器、配管類が破損すると内容物が漏洩して気化し、大気中に拡散して広い地域を汚染する。大気中への拡散は風速と大気の安定度で大きく変化するので、各地域毎に汚染範囲を知ることは重要である。この視点から、本論文では従来からよく使われている「坂上の拡散方程式」を用いてLPガス、塩素、アンモニアの大気中への拡散シュミレーションを試みた。

## 1. はじめに

技術の進歩が人類の要求に応じて日々新しい化学薬品を生み出しており、その中には1万種を超える有害物質が存在し流通しているといわれる。さらに最近では、製造者だけが安全面の保守管理を含む取り扱い方法を把握しているというような、新しい危険物も数多く生産されている。危険物により人体が被害を受ける状態は、接触、曝露、飲下、呼吸、火災などであるが、特にガス状の危険物が大気中に拡散する場合は、その影響は極めて広範囲におよぶ。

これらの物質は平常時には密封、隔離という形で保管されているが、地震などの自然災害による漏洩拡散に限らず、むしろ管理、取り扱いの不備による人災として、しばしば事故を起している。使用される範囲が限定される特殊な危険物はともかく、日常生活を営むのに不可欠な危険物には、徐々にフロン系の薬品に代えられてきてはいるが、大型冷凍設備に使用されている冷媒用アンモニア、同様に次亜塩素酸ナトリウムに変換されつつある上下水道殺菌用の塩素、エネルギー源としてのLPガスなどは、多量に身近に存在する。これらは常温常圧では気体であるが、大量消費を支えるために圧縮液化して備蓄されている。そのために、事故の際大量に噴出する潜在的危険性があるので、地域特性や気象条件を考慮した拡散汚染地域を予測することは重要であると考えられる。

本報告では、日常生活に不可欠な特に重要な危険物として、LPガス、塩素及びアンモニアの3種類を対象に、まずこれらのガスの現状、特性及び貯蔵状態について説明し、次にそれらの災害時における拡散予測の手法を与え、数値シミュレーションによる拡散予測値を示す。

## 2. 危険物の現状

### 2.1 危険物の定義

一般に危険物とは引火性、可燃性、発火性、支

表1 消防法による危険物の分類

| 類別  | 性 質   | 危険物の例                  |
|-----|---|------------------------|
| 第1類 | 【酸化性個体】<br>可燃物との混合により、熱による分解で極めて激しく燃焼を起こす個体               | 塩素酸化類<br>重クロム酸塩類       |
| 第2類 | 【可燃性個体】<br>比較的低温で引火しやすい個体または火災により着火しやすい個体で燃焼速度が速い         | 赤りん<br>硫黄<br>鉄粉        |
| 第3類 | 【自然発火性物質及び禁水性物質】<br>空気にさらされると自然発火するもの。または水と接触すると発熱反応を起こす。 | カリウム<br>ナトリウム<br>黄りん   |
| 第4類 | 【引火性液体】<br>大別して水溶性と非水溶性のものがあり、ガスは空気よりも重いものが多く火災になりやすい。    | 石油類<br>アルコール類<br>動植物油類 |
| 第5類 | 【自己反応性物質】<br>加熱による分解の自己反応により発熱し、爆発的に反応が進む。                | 硝酸エステル類<br>ニトロ化合物      |
| 第6類 | 【酸化性液体】<br>他の燃焼を促進する液体                                    | 過酸化水素<br>硝酸            |

表2 東京都防災会議による危険物の分類類

| 火薬類       | 火薬、爆薬、火工品                               |
|-----------|---|
| 高压ガス、都市ガス | 高压ガス(LPガス、特殊燃料ガス)<br>都市ガス               |
| 引火性可燃性液体  | 消防法第四類危険物                               |
| 反応性化学薬品   | 消防法第四類以外の危険物                            |
| 少量・微量危険物  | 消防法全危険物                                 |
| 有毒・有害物質   | 毒物(黄りん、シアン化物、水銀など)<br>劇物(アンモニア、硫黄、塩素など) |
| 放射性物質     | 放射性同位元素など                               |
| 病原体       |   |

燃性、爆発性、毒性、および腐食性を有する物質のことで、表1に示すような第1類から第6類までの消防法上の危険物のほかに、高圧ガス、火薬類、毒・劇物、放射性物質などがある。

東京都防災会議は国際連合の危険物分類と対比して、表2のように8種類の危険物を分類している。この分類では、消防法には含まれていない、LPガスのような高圧ガス、アンモニア、塩素などの有毒・有害物質をも対象としている。

## 2. 2 高圧ガスの定義及び種類

高圧ガス取締法第二条において高圧ガスとは、以下のように定義している。

- (1) 常用の温度において圧力（ゲージ圧をいう、以下同じ）が10Kg/cm<sup>2</sup>以上となる圧縮ガスであって、現にその圧力が10Kg/cm<sup>2</sup>以上であるもの又は、温度35℃において圧力が10Kg/cm<sup>2</sup>となる圧縮ガス。（圧縮アセチレンガスを除く。）
- (2) 常用の温度において圧力が2Kg/cm<sup>2</sup>以上となる圧縮アセチレンガスであって、現にその圧力が2Kg/cm<sup>2</sup>以上であるもの又は、温度15℃において圧力が2Kg/cm<sup>2</sup>以上となる圧縮アセチレンガス。
- (3) 常温の温度において圧力が2Kg/cm<sup>2</sup>以上となる液化ガスであって、現にその圧力が2Kg/cm<sup>2</sup>以上であるもの又は、圧力が2Kg/cm<sup>2</sup>となる場合の温度が35℃以下である液化ガス。
- (4) 前項に掲げるものを除き、温度35℃において圧力0Kg/cm<sup>2</sup>を超える液化ガスのうち、液化シアン化水素、液化ブロムメチル又はその他の液化ガスであって、制令で定めるもの。

高圧ガスには、圧縮ガスと液化ガスの2種類がある。圧縮ガスとは、容器に充填された酸素や水素などのように、ガスの状態のまま圧力を保っているものをいい、液化ガスとは、LPガスやアンモニアなどのように、容器の中で高圧液化状態にあるものをいう。

本研究では、主な考察対象としているLPガス、アンモニア、塩素を「高圧ガス」に含まれるとし

て扱っている。

## 3. 有毒ガスの特性

### 3. 1 LPガス

LPガスはプロパン、プロピレン、ブタン等の混合ガスで、加圧又は冷却により液化して貯蔵される。比重は空気の1.5~2倍と重いので、低所にたまりやすい。常温常圧の下では引火点が非常に低く、漏洩の際に引火しやすい。燃焼下限界濃度が2.1%と低く、空気と混合して爆発性のガスとなる。そのために大量流出によって爆発の可能性があり、爆風圧、火災、ファイアーボールからの輻射熱などにより、人的被害発生の恐れがある。

LPガス自体には毒性は全くないが、多量に存在すると酸欠による軽微な麻酔感から窒息へ進む。ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists - 1978) では15分以下の短時間曝露限度 (TLV - STEL) として1250 ppm、1日8時間労働の加重平均濃度 (TLV - TWA) として1000ppmを勧告している。

### 3. 2 塩素ガス

塩素は塩化ナトリウムを電気分解して得られる、腐食性と毒性の強い極めて有害な物質である。しかし、支燃性は有するが爆発性も引火性もない。常温常圧では刺激性の非常に強いガスであるが、圧縮液化して貯蔵されている。高濃度の塩素ガスを吸入すると、鼻、気管支などの呼吸器系に激しいけいれんを起し、肺臓をおかされて死に至る。また、直接皮膚に触れると火傷を起し、極端な場合は凍傷になることもある。

塩素ガスの許容濃度はACGIHでは15分以下の短時間曝露限度として3ppm、1日8時間労働の加重平均濃度として1ppmを勧告している。また、日本産業衛生学会でも通常の労働時間の許容濃度として、1ppmを勧告している。

### 3. 3 アンモニア

窒素と水素から合成される無色で刺激臭のある有毒なガスで、通常は加圧液化して貯蔵される。アンモニアガス自体は難燃性であるが、空気中のアンモニア含有量が15~28vol%の範囲では爆発燃焼する。高濃度のアンモニアガスを吸入すると、呼吸器管の粘膜を破壊され、短時間で死に至ることがある。また、液化アンモニアはアルカリ性のため皮膚に触れると炎症、凍傷を起す。

アンモニアの許容濃度としては、15分以下の短時間曝露限度が35ppm、1日8時間労働の加重平均濃度が25ppmを勧告している。また、日本産業

衛生学会では通常の労働時間の許容濃度として、50ppmを勧告している。

### 4. 拡散予測手法

圧縮液化されて大量貯蔵されているLPガスなどの可燃性ガス、塩素ガス、アンモニアなどの有毒物が、地震などに起因する貯蔵容器、配管などの破損により大気中に放出されると、瞬間的に蒸発気化して拡散し、大気を汚染する。この汚染区域を予測して予防対策を考慮しておくことは、防災上重要な問題であるが、この拡散状況は汚染物質の物性、大気中への放出状況、気象条件、地域環境

表3 拡散予測手法とその特徴

|                 |  |
|-----------------|--|
| 大気拡散式           | <p>大気と同じ密度の物質が大気中へ拡散していくと考える。</p> <p>パフモデル : 点源から瞬間的に大気中に放出された煙の塊(パフ)が時間とともに移流拡散するのを扱う。風速1 (m/s) 以下の場合に適用する。</p> <p>プルームモデル : 点源から連続的に大気中に放出される煙流(プルーム)を扱う。風速1 (m/s) 以上の場合に適用する。【坂上の式】</p> |
| 流体力学モデル         | <p>地形・建物の影響、ガス密度差などを考慮した拡散方程式を用いて、コンピュータにより数値解析を行う。適用制限はないが、必要とするパラメータの情報量と精度が十分に得られない。</p>  |
| トレーサーガス拡散実験     | <p>エアトレーサー(蛍光顔料微粒子、SF<sub>6</sub>ガス)を放出して、風下の観測点でガス濃度を測定する。観測地域における拡散状況を最も忠実に現すが、気象条件のパラメーターが常に変化しているので再現性はない。</p>   |
| 風洞実験<br>または水槽実験 | <p>大気拡散風洞又は水槽内に対象地域の縮尺地形モデルを設置してトレーサーガスなどの流体を用いる。再現性はあるが、実物と模型との相似関係の考え方、温度成層や乱流の作成法に課題が残る。</p>  |
| 統計モデル           | <p>過去の拡散物質濃度、気象状況などの実測データを用いて、統計的に未来の濃度を予測する回帰モデルが主である。発生源の増域などの外的要素の変化に対応できない。過去の実測データを用いるので、データのない未汚染地域の予測はできない。</p>   |

条件などによって多様かつ複雑に変化し、汚染範囲を正確に把握することは困難である。しかし、ある限定された条件下での汚染物質の拡散予測に関しては、多くの手法が開発され実用化されている。表3に主な拡散予測手法とその特徴を示す。このように特定な気体の大気中への拡散を考える上で、いくつかの考慮すべき問題がある。以下にそれらをまとめる。

#### ① 濃度と被害の関係

毒性ガスに関する濃度と被害の関係は、実験室的にはかなり明確になっているが、屋外の大気中に拡散した場合の影響に関しては、正確なデータがない。LPガスに関しても濃度と被害の関係、爆発・ファイアボールと人体損傷との因果関係ははっきりしていない。

#### ② 巨大地震に際しての施設損傷率の推定

一般の構造物では過去の地震時の被害経験から、損傷様式と損傷確率をある程度統計的に推定可能な手法が確立している。しかし、ここで対象としているような液化ガス関係の施設の損傷に関しては、統計的考察ができるほどのデータの蓄積がない。1993年1月15日の釧路沖地震、および7月12日の北海道南西沖地震における被害経験とデータの蓄積が望まれる。

#### ③ 液体の流出量の決定と拡散計算の精度

液化ガスタンクの被害事例が少なく、統計的処理のためにはガス噴出のデータが非常に不足している。また、通常使われている拡散計算過程でのパラメーターに不確定な要素が多く含まれるため、計算結果の信頼性に問題がある。

## 5. 拡散シュミレーション

各種危険物を製造、貯蔵する施設（屋外タンクなど）において、地震動（主要動）による衝撃や共振などによりタンクやその支持構造が破壊すると、構造各部に破断、切損、亀裂、ゆるみなどが生じる可能性があり、内容物の漏洩が起こる。この場合、タンク内で加圧され、平衡状態にあった液化ガスの一部は急速に気化して大気中に拡散す

る。また、液として残ったものも周囲からの熱の流入によって気化して大気中に拡散する。ガスが大気中に拡散するモデルとしては、内容物の存在状態と拡散源の状態とによって、表4のように3形態が考えられる。ここではLPガスや塩素など液化ガスの拡散に対応すると考えられる連続点源モデルと、瞬間面源モデルを用いた拡散シュミレーションについて考察する。

表4 気体の拡散モデル

| モデル  | 拡散の状態   | 対象施設例                         |
|------|---|-------------------------------|
| 連続点源 | 【加圧気体の噴出】<br>ガスタンク配管の損傷箇所から、ガスが連続的に噴出気化して拡散していく状態。            | 液化ガスタンク<br>{ LPガス }<br>{ 塩素 } |
| 瞬間面源 | 【常温加圧気体の流出に伴う急激な気化】<br>ガスタンクが破壊され、内容物が脱圧のため瞬間に気化して大気中に拡散する場合。 | 液化ガスタンク<br>{ LPガス }<br>{ 塩素 } |
| 連続面源 | 【低温液体の流出後の蒸発】<br>ガスタンク内の液化ガスが流出して防液堤内にプールを作り、そこから蒸発し拡散する状態。   | 液化ガス<br>低温タンク                 |

### 5. 1 拡散方程式

ガスが大気中に拡散した場合の濃度分布を推定する計算式は多数発表されているが、その中でも地表近くの実測濃度分布と計算結果が比較的よく合致するとして、化学プラントの防災アセスメントなどでよく使われている「坂上の式」を用いて考える。この坂上の式にはガス比重、地形及び建物などの影響は考慮されていないという問題点がある。しかし、比重や地形に関するパラメータが考慮されていても、実際にガスが大気中に拡散する場合、実際の地上の建物などの障害物は非常に複雑であるので、計算式ですべての立地障害や、熱

的攪乱を考慮に入れることは容易ではない。本研究では、まず「坂上の式」をもとに、地表条件は平坦であって、拡散を気象条件と風のみによるものとして定式化し、さらに障害物が存在する場合の拡散は、非常に簡単な条件下にモデル化を基礎にして考察している。

5. 2 坂上の拡散式

連続点源と瞬間面源に関する坂上のガス拡散式は以下のように与えられる。

(i) 連続点源モデル

配管などの損傷箇所から連続的にガスが噴出して大気中に拡散する場合、特定点におけるガス濃度を  $x, y, z$  座標を用いて

$$C = \frac{q}{u} \cdot \frac{e^{-\frac{y^2}{A}}}{\sqrt{A\pi}} \cdot \frac{1}{B} e^{-\frac{h+z}{B}} \cdot J_0 \left( i \frac{2\sqrt{hz}}{B} \right) \quad (m^3/m^3) \quad (1)$$

によって与える。ここで A, B は

$$A = \frac{1}{(3.03)^2} q_A (\varphi_A x + e^{-\varphi_A x} - 1) \quad (2)$$

$$B = q_B (\varphi_B x + e^{-\varphi_B x} - 1) \quad (3)$$

で決まる定数であり、式中の各記号は下記のことを意味する。

- $q$ : 点源からのガス発生量 ( $m^3/sec$ )
- $u$ : 風速 ( $m/sec$ )
- $h$ : 発生源の高さ ( $m$ )
- $q_A, q_B, \varphi_A, \varphi_B$ : 気象条件による拡散パラメータ
- $J_0$ : ベッセル関数

(ii) 瞬間面源モデル

ガスタンクが破壊され、内容物が瞬時に気化して大気中に拡散する場合、特定点のガス濃度は

$$C = \frac{q_i}{u} \cdot \frac{e^{-\frac{z}{B}}}{B} \cdot \frac{\operatorname{erf} \left( \frac{x-ut+\ell}{\sqrt{A}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{x-ut-\ell}{\sqrt{A}} \right)}{2} \cdot \frac{\operatorname{erf} \left( \frac{y+m}{\sqrt{A}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{y-m}{\sqrt{A}} \right)}{2} \quad (4)$$

によって与えられる。ここで A, B は式 (2)、式

(3) で与えられるものであり、各記号は以下のようである。

- $q_i$ : 瞬間蒸発量 ( $m^3/m^2 sec$ )
- $t$ : 経過時間 ( $sec$ )
- $u$ : 風速 ( $m/sec$ )
- $\ell, m$ : 図1に示す防液堤の一辺/2 ( $m$ )

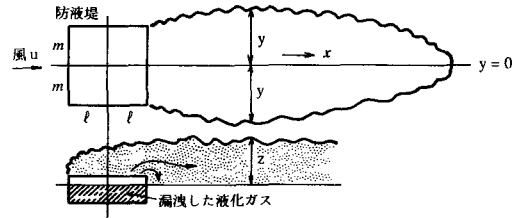


図1 瞬間面源拡散略図

$\operatorname{erf}(x)$  は、 $x$  に関する誤差関数 (error function) であり

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( x - \frac{x^3}{1!3} + \frac{x^5}{2!5} + \frac{x^7}{3!7} \dots \right) \quad (5)$$

式 (4) の利点は式 (1) の拡散式と異なり、濃度 C に経過時間 t が含まれていることであり、対象気体の濃度の危険区域内での時間的推移を計算することができる。

5. 3 連続点源モデルによるシュミレーション

ガスタンクの付属配管などの損傷により、気化した LP ガスや塩素ガスが連続的に漏洩する状況を想定して、連続点源モデルによる危険区域の変化の様子を考察した。ここでいう危険区域とは当該のガスが、人体に有毒な影響を与えると考えられる許容濃度以上で空气中に存在する区域をいい、本論文では以下のように設定した。

- (a) LP ガスの危険区域: 燃焼下限濃度 2.1 (%)
- (b) 塩素ガスの危険区域: 15 分以下の短時間曝露限度 3 (ppm)
- (c) アンモニアガスの危険区域: 15 分以下の短時間曝露限

度 35 (ppm)

危険区域は大気安定度、風速、ガス発生源高さに大きく影響されるので、これらをパラメータとして、LPガスの拡散状況を以下の条件のもとで計算した。大気安定度とは風向分布、気温分布、熱の流れなどによって大気中にできる、大小の気流やうずにより発生する大気の流れのことで、安定、中立、不安定という表現をする。

(i) 大気安定の違いによる危険区域の変化 (図2)

設定条件 風速：1 (m/sec)  
 ガス流出量：10 (m<sup>3</sup>/sec)  
 ガス発生源高さ：0.5 (m)  
 拡散濃度測定高さ：0.5 (m)

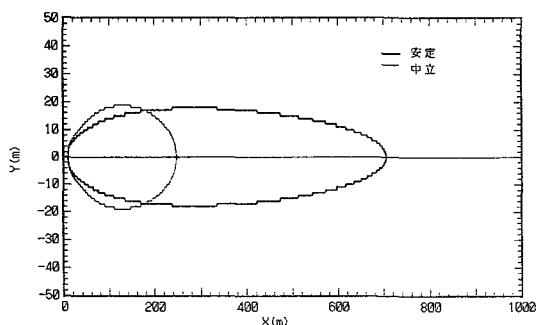


図2 大気安定度の違いによる危険区域の変化

(ii) 風速の違いによる危険区域の変化 (図3)

設定条件 気象条件：中立  
 ガス流出量：10 (m<sup>3</sup>/sec)  
 ガス発生源高さ：0.5 (m)  
 拡散濃度測定高さ：0.5 (m)

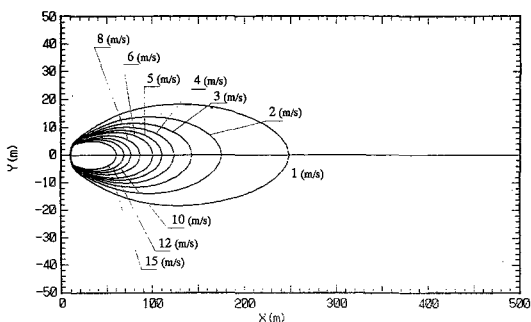


図3 風速の違いによる危険区域の変化

(iii) ガス発生源高さの違いによる危険区域の変化 (図4)

設定条件 気象条件：中立  
 風速：1 (m/sec)  
 ガス流出量：10 (m<sup>3</sup>/sec)  
 拡散濃度測定高さ：0.5 (m)

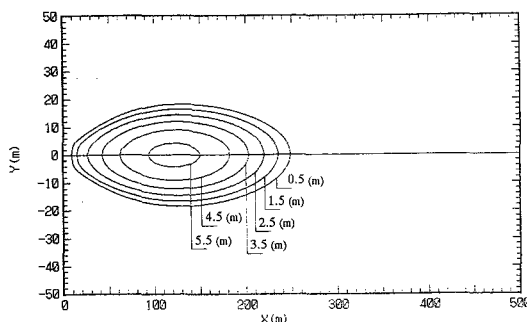


図4 ガス発生源高さの違いによる危険区域の変化

図2から同一条件のもとでは、大気安定度が安定の場合には中立の場合より3倍以上遠方まで危険区域となることがわかる。このことから被害想定を行う地域の気象安定度は、どのような状態が多いかを調べておく必要がある。

図3、図4から、風速が小さく、ガスの発生源高さが低い場合に危険区域が広がるといえる。一般にLPガスのタンクは、下部で搬入、搬出を行う構造のため、バルブ、配管などが地上高の低い位置に集中している。このように地表に近い位置で配管などが破損し、風が弱く大気の状態が安定していると、より広範囲の地域が汚染されることになる。1987年12月17日に発生した、千葉県東方沖地震 (M6.7) の際に千葉県長生郡長南町で球形ガスタンクの前バルブが切断された。この事故で約18000 m<sup>3</sup>のガスが漏洩したが、家屋の密集地域ではなかったために、人的被害の発生はなかった。

次に以下の条件のもとで、拡散するガスの種類によって危険区域にどのような差異が生ずるかの計算を行い、その結果を図5に示す。

設定条件 気象条件：中立  
 流出ガス：LPガス、塩素ガス  
 風速：1 (m/sec)

ガス流出量：  
 LPガス 10 ( $m^3/sec$ )  
 塩素ガス 50 (Kg) / 10 (min)  
 = 0.0258 ( $m^3/sec$ )  
 拡散濃度測定高さ：0.5 (m)  
 ガス発生源高さ：0.5 (m)

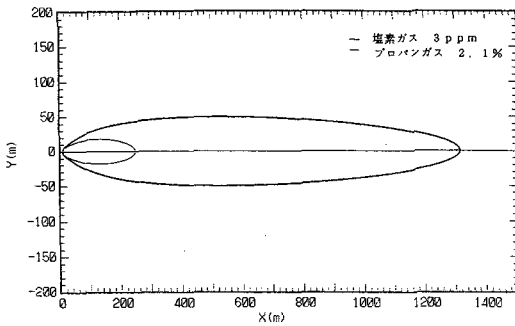


図5 LPガスと塩素ガスの拡散による危険区域の差

塩素ガスは50Kgボンベの中身全部が10分間で気化した場合を想定した。比較するガスの流出量が等しくなっていないが、これは危険区域内のガス許容濃度の差が大きすぎ、同一量のガス流出として計算した場合には、汚染される範囲があまりにも違ってしまい比較が困難になるためである。LPガスよりもはるかに少量の塩素ガスの流出であっても、低い濃度で危険区域が設定されるために、汚染される地域は広大であり、平常時の保守管理の徹底が望まれる。

5. 4 瞬間面源モデルによるシュミレーション

ガスタンクが破壊され、防液堤内に流出した内容物が瞬時に気化して、大気中をガスのかたまりが移動していく場合を想定して、瞬間面源モデルにより拡散の推定を行った。拡散方程式(4)を用いて計算するが、この式には経過時間tが入っているので、危険区域の時間的推移を見ることが出来る。

以下のようなケースを想定してシュミレーションを行った。

- (i) LPガス拡散による危険区域の時間的推移  
 容量1150tonのLPガスタンク内の液化ガス

全容量が1secで気化して、大気中に放出されたと仮定した場合の危険区域の時間的推移を以下の設定条件で計算した。

設定条件 気象条件：中立  
 風速：1 (m/sec)  
 流出ガス：LPガス  
 ガス流出量1150 (ton/sec)  
 (= 569307 $m^3/sec$ )  
 ガス発生源高さ：0.5 (m)  
 拡散濃度測定高さ：0.5 (m)  
 経過時間：t (sec)

計算結果を図6に示す。

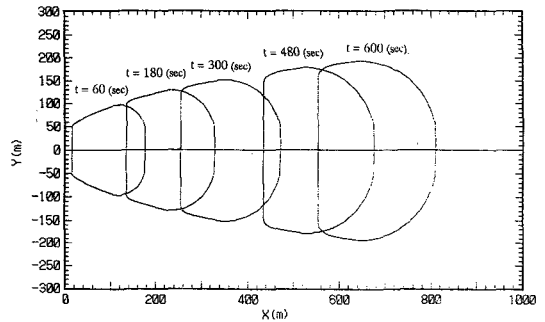


図6 LPガス拡散による危険区域の時間的推移

この図は2.1%の燃焼下限濃度の地点を結んでできた危険区域が、時間とともに風下方向へ移動していく様子を示している。したがって、線で囲まれた内側のLPガス濃度は2.1%より高く、非常に着火しやすい危険な状況になっている。ガスが大気中へ放出されて1分後には3万 $m^2$ 近い範囲が危険区域になり、10分後には約8万 $m^2$ が危険区域になっている。図7は図6と同一条件下で、3次元的な危険区域の状態を示したものである。これによるとガスは平面的な広がりよりも、高さ方向への危険区域の広がりの方が大きいことがわかる。ガス放出後8分で危険区域の高さは300mを超えて、都庁第一本庁舎も横浜のランドマークタワーも飲みこんでしまう。10分後には危険区域の高さは400mになる。地上わずかに50cmの位置で気化し、拡散し続けるガスは放出後10分で、新宿副都心を飲みこむ容積の危険区域に広がることになる。



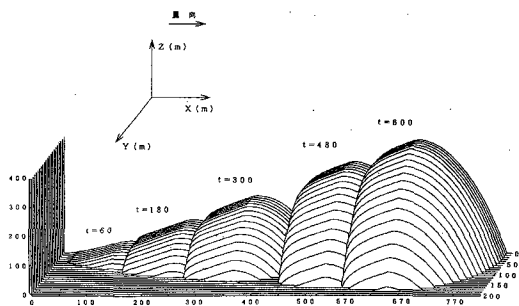


図7 LPガス拡散による危険区域の時間的推移の3次元表示

(ii) 塩素ガス拡散による危険区域の時間的推移  
 50Kg入りの塩素ガスボンベが破壊され、内容物の液化塩素が1secで全て気化して、大気中に放出したと仮定した場合の危険区域の時間的推移を以下の条件で計算した。

- 設定条件 気象条件：中立  
 風速：1 (m/sec)  
 流出ガス：塩素ガス  
 ガス流出量：50 (Kg/sec)  
 (= 15.5m<sup>3</sup>/sec)  
 ガス発生源高さ：0.5 (m)  
 拡散濃度測定高さ：0.5 (m)  
 経過時間：t (sec)

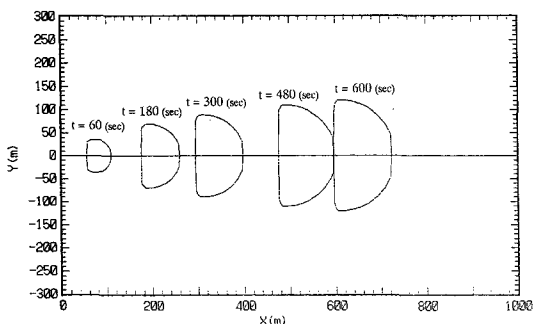


図8 塩素ガス拡散による危険区域の時間的推移

図8に計算結果を示す。この図は短時間曝露限度の3ppmの濃度地点を結んで危険区域の移動を示したもので、線の内側は塩素ガス濃度が3ppm以

上の危険地帯である。図9は図8と同一条件で、危険区域を3次的に示したものである。10分後の危険区域の高さは約250mとなり、超高層ビルの平均の高さにまで広がることを示している。

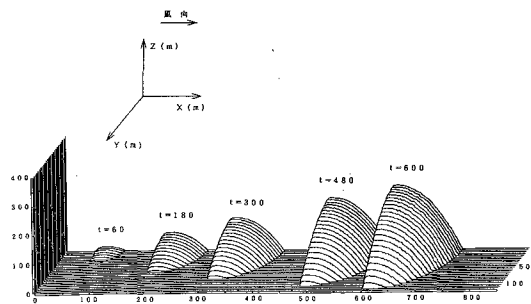


図9 塩素ガス拡散による危険区域の時間的推移の3次元表示

LPガスと塩素ガスが大気安定度、風速、ガス発生源高さの違いにより、どのように大気中に拡散して危険区域を生成していくのか、また、3次的にはどのような形の危険区域となるのかを、坂上の拡散式により計算した。アンモニアガスの拡散に関しても同様の計算をしたが、危険区域内のガス濃度が異なるだけで、塩素ガス同様の結果であった。ここでは毒性の強さから漏洩事故の際に影響が大きいと考えられる、塩素ガスのシュミレーションを紹介し、アンモニアガスに関しては省略した。

### 5. 5 障害物が存在する場合のシュミレーション

坂上の拡散式は、障害物のない平坦な場所でのみ成り立っているが、この式をそのまま用いてビルなどの障害物が存在する場合の拡散を想定してみた。ガスは圧縮性流体なので、流体の式と拡散式を組み合わせるべきであるが、複雑になるので以下のような仮定のもとに、拡散式だけで計算を行った。

- (i) ガスは障害物の上は越えず両脇を通過する。
- (ii) ガスが障害物の地点まで達したら、その場から再びはじめの状態ではじめると考える。
- (iii) 障害物の地点で拡散をはじめるとするガスの流出量

は、その地点における危険区域内のガス量として考える。

設定条件 気象条件：中立  
 風速1：(m/sec)  
 流出ガス：LPガス  
 ガス流出量：10 (m<sup>3</sup>/sec)  
 ガス発生源高さ：0.5 (m)  
 拡散濃度測定高さ：0.5 (m)

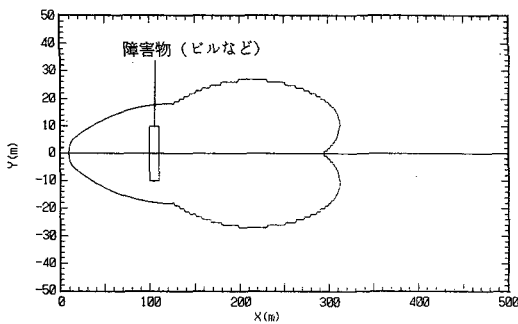


図10 障害物がある場合の危険区域

ガス発生源から風下方向100mの地点に、幅20mの障害物が存在するとした計算結果を図10に示す。危険区域内のガス濃度は低くなっていくが、障害物の地点から新しく拡散が開始すると考えるので、危険区域は障害物のない場合より広がる。このことから、障害物のない郊外よりも、ビルが林立する都心部の方が広い範囲が汚染され、建物は火災の場合とは異なって、ガスの拡散に対する障害物にはならないといえる。

## 6. おわりに

ガスの漏洩拡散事故が発生すると、3次的に広い範囲の地域が汚染される。平面的な広がりより高層住宅として、上方へ住空間が伸びてきている現代社会において、多数の人々が日常生活を営んでいる高層の集合住宅群は、それだけで1個の都市機能を備えている。

生活の場に隣接して下水道などの終末処理施設があり、有毒の危険物が使用されている可能性が

ある。このような施設でガスの漏洩事故が発生すれば、短時間で高層住宅群が危険区域内に入り、大惨事となる。

このような参事を回避するためにも、平常の危険物管理をハード・ソフトの両面において徹底させねばならない。

## 文献一覧

Jiro Sakagami

1954「On the Turbulent Diffusion in the Atmosphere Near the Ground」  
 Natural Science Report, Ochanomizu Univ.  
 5-1

Jiro Sakagami

1956「On the Atmospheric Diffusion of Gas or Aerosol Near the Ground」  
 Natural Science Report, Ochanomizu Univ.  
 7-1

高圧ガス保安協会

1974「コンビナート保安・防災技術指針資料編」

河村武

1987「大気環境論」

日本化学会

1979「化学防災指針1および2」

東京都

1991「東京における地震被害の想定に関する調査」  
 防災都市計画研究所

1993「1993年7月12日 北海道南西沖地震被害調査速報」

Key Word (キーワード)

Seismic Damage (地震時損傷)    Dangerous Object (危険物)  
High – Pressure Gas (高圧ガス)    Sakagami's Equation (坂上の式)  
Diffusion (拡散)    Numerical Simulation (数値シュミレーション)  
Continuous Point Source (連続点源)  
Instantaneous Plane Source (瞬間面源)

## Seismic Damage Evaluation for Diffusion of High - Pressure Gas

Tomohiko Mitsumori and Kohei Suzuki

Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

*Comprehensive Urban Studies*, No, 51, 1993, pp. 47 - 58

As if to remind us that we live on a geologically unstable archipelago, several large earthquakes occurred in 1993, each causing great damage. Those were the Kushiro-oki Earthquake of January 15 (M7.8) ; the Noto Hanto-oki Earthquake of February 7 (M6.6) ; and the Hokkaido Nansei - oki Earthquake of July 12 (M7.8). These earthquakes occurred in areas far from large cities and large industrial areas. There fore, extensive damage due to leakages of dangerous substances fortunately did not occur. (A small asphalt spill and a small amount of fish oil leaked out were reported at the time of the Kushiro - oki Earthquake.)

When the Hokkaido Nansei-oki Earthquake occurred, an outdoor fuel tank for fishing boats in Okushiri Town, Okushiri Island, was damaged and some of the leaked beyond the spill barrier and into the bay. Another case of outdoor fuel tank damage occurred in the Kuon District of Taisei Town in the main island of Hokkaido, but no leakage has been reported. As of October 1993 there have been no other reports on any similar damage.

In industrial areas as well as in any areas where people live there are many harmful substances contained in tanks and pipes. There are well controlled in ordinary times, but may leak out when the tanks and pipes are damaged by an earthquake and may pollute wide areas. In cases of air pollution, the scale of diffusion into the atmosphere depends on wind speed and air stability. It is first important to get data on a leakage areas effected by the earthquake. We have conducted a diffusion simulation test involving LP gas, chlorine and ammonia. In our analysis we applied Sakagami's equation, which is often used in simulations of this kind.