

第 部門 化学テロによる人的被害の算出法に関する研究

京都大学大学院工学研究科
京都大学工学部地球工学科助教授 清野 純史
学生員 山崎 啓司

1. 研究の背景と目的

近年、世界の政情が悪化し、アメリカ合衆国での9・11同時多発テロをはじめ各国でテロが頻発している。わが国日本でも、オウム真理教による地下鉄サリン事件という悲惨な化学テロが起き、多くの人々が犠牲となった。これからもテロが起きる可能性は十分に考えられるために、テロ対策が必要となる。あるテロが起きた時に、どれほどの被害がでるかということ予測し、その情報を得ることで、テロ対策につながる。本研究では、屋外での有害ガスによるテロを想定し、格子ボルツマン法によってシミュレーションを行ない、人的被害の算出法を検討する。

2. 格子ボルツマン法

空間を規則的な格子点で離散化し、その格子点上のみに粒子が存在し、気体などの流体を考える時にその流体全体を粒子の集まりとして、その流体を構成する粒子の衝突と並進運動をタイムステップ毎に考える事により、流体の動きを把握することができる手法である。簡単に理論を説明する。下の式があるが、これはタイムステップ t 毎の各格子点での密度関数が求まることを示している。

$$f_i(x + c_i \cdot \Delta t, t + \Delta t) = \left(1 - \frac{1}{\tau}\right) f_i(x, t) + \frac{1}{\tau} f_i^{eq}(x, t)$$

3. 計算手法

1) 計算する空間の領域を格子によって離散化する。 2) 離散化された格子点状の流体の密度、速度などの巨視的変数から、局所的平衡分布関数を計算する。この計算を衝突演算という。 3) 求めた局所的平衡分布関数を格子ボルツマン方程式に代入し、次の時間ステップで、その格子に隣接する各格子の分布関数が求められる。 4) 境界条件に従って、境界での分布関数を求める。 5) 全ての格子点上で、次の時間ステップで求められた分布関数を使って、巨視的変数を求める。 以上の手順のうち2)～5)を繰り返すことで、計算を行なう。

また、本論文では気体の境界でのふるまいを表現する場合によく利用されるbounce-back条件を適用する。

bounce-back 条件とは、壁面に速度がない場合、粒子が壁面に衝突した時、壁面に向かう方向をそのまま跳ね返るという単純な条件である。今回用いる構造物には速度がないために、この条件を適用する。

4. 解析モデルと解析手法

本研究で用いるモデルは、屋外でサリンを散布されたケースを想定する。また、構造物や風の影響を検討するためにいくつかのケースを想定する。まず基本モデルとしては、bounce-back 境界が地面だけの屋外縦25m、横45m、高さ25mの空間とする。この場合他の5面の境界は粒子が到達した時点消滅するような境界条件を与えている。サリンの散布する場所は $(x, y, z) = (13\text{m}, 23\text{m}, 1\text{m})$ として、構造物がなく無風状態の場合、構造物があり無風状態の場合、構造物がなく風が吹いている場合、構造物があり風が吹いている場合、の計4 ケースを想定する。またそれぞれのケースにおいて全て、重力の影響は非常に小さいために無視する。下の図1のように、中央にある赤い球(13m、23m、1m)がサリン100g であり、青い直線(13m, y, 1m) (y=1,2,...,45) が先ほど述べたピーク密度と累積密度を求める対象となる。黒い直方体が構造物を、緑の矢印は風を表している。また構造物を設置する地点はy=27～32m とする。そして、(13m, y, 1m) (y=1,2,...,45) のそれぞれの累積密度について考える。ある地点の密度は時々刻々と変化するが、累積密度

は時間毎の密度の合計、すなわち密度を時間で積分したものと定義する。通常は $x = 13\text{m}, z = 1\text{m}$ の直線上で累積密度の検討を行なう。サリンの半数致死曝露量LCTが $100(\text{mg min}/\text{m}^3)$ というデータ(参考文献生物化学テロ対処ハンドブック生物化学テロ災害対処研究会)から本研究では下の図2のように人的被害関数を与えた。したがって、この関数とその地点での累積密度により、その地点にいた時の致死確率を求め、人的被害を算定する。

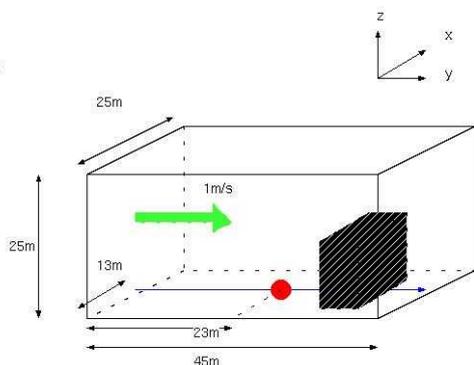


図1

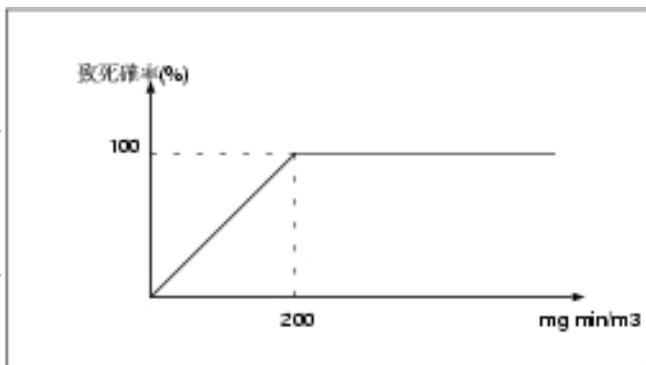


図2

5. 解析結果

ここでは代表的な解析結果を紹介する。構造物がない時の、無風、風下、風上の影響を表したグラフが下の図3で、横軸がサリンの発生源からの距離(m)、縦軸が致死確率(%)である。赤が無風、緑が風下、青が風上を示している。図を見ると、風下、無風、風上の順に致死確率が高く、風の影響が強いことが示されている。また構造物があり風がある時の構造物後方の位置と致死確率の関係を表したグラフが下の図4であり、横軸が位置(m)、縦軸が致死確率(%)となっている。赤が(5m, 5m, 5m)の構造物、緑が(9m, 5m, 10m)の構造物、青が(13m, 5m, 15m)の構造物を考慮した時を示している。図を見ると、構造物が小さい程致死確率が高く、構造物の影響が強いことが示されている。

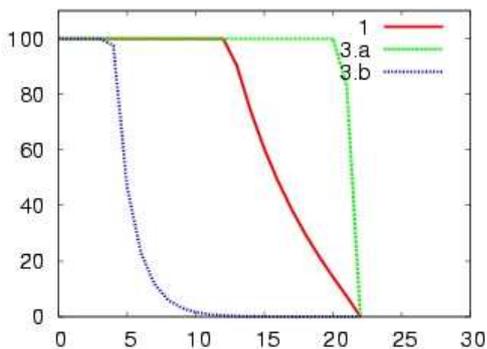


図3

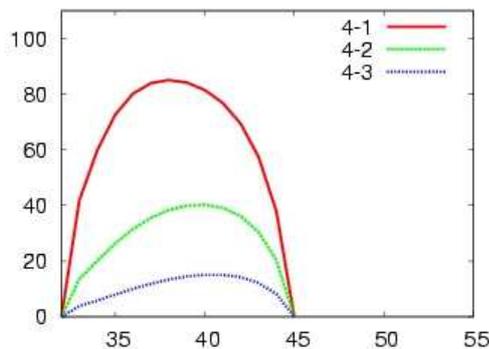


図4

6 結論

構造物や風などの影響による様々な場合を想定し、致死確率を求めることにより人的被害を算出した。

この場合、風と構造物の影響が非常に大きいことが分かった。

有害物質発生源からの距離と致死確率の関係を導出した。

例えば化学物質(ここではサリン)の量や風速、構造物の大きさなどをパラメトリックに考えて一般的な関係を見出せば、シナリオを与えることによって対象とする域内のリスクが算出されることになる。

今後の課題としては、以下のものが挙げられる。

本論文では、簡素なケースを想定したが、様々なケースでテロが起こり得るので、複数の構造物が存在する場合や、複数の有害ガスの発生源がある場合など、今後対象とするケースを増やすことが必要となる。