

## 二酸化炭素濃度測定による ガレキ内要救助者の探索

自治省消防庁消防研究所

消火第一研究室長 高 橋 哲

### 1. まえがき

最近数年間を見ても、世界のどこかでほぼ毎年のように大地震が起こっており、多数の人々が建物の崩壊によるガレキの下敷きとなっている。一刻を争って被災者を探索し、救助活動に取りかからねばならない。この為、不慮の重大事故に備え、各国において、特殊な装備と訓練を施した国際緊急救助隊を結成し準備を整えているところである。

埋没生存者を見つけだすために、様々な探査機器が使用されている。赤外暗視装置、音波探査機、ファイバースコープなどが代表例である。しかし、赤外暗視装置では、障害物があると発見出来ない。音波探査機は、周辺の人、自動車の活動、ガレキのキシミ等で紛れる。ファイバースコープは、屈曲した深部には到達出来ない。救助犬が活躍することもあるが、生き物の管理は大変であり、また、活動時間に限りがあると言われている。このように、現在使用されている探査機器には一長一短があり万能ではない。

そこで消防研究所では、人間の呼気に含まれる二酸化炭素に注目し、これを分析して生存者を見つけだす装置の開発を進めてきた。研究所構内に実規模のガレキ場を築いて検討を進めた結果、この度、実用上十分な性能を有すると思われる探査装置を開発できた。

### 2. 開発上の問題点

現在、大気中の二酸化炭素濃度は、太平洋の真中で350ppmあり、毎年1.3ppmの割合で急上昇しているといわれる。また植物の成長の関係で、夏には数ppm程少なく、冬には同じだけ増加する。この濃度変化は地球規模では一定したものであるが、都市部では短期間にかなり変動し、例えば東京郊外の三鷹市では、通常360ppmぐらい、高い日には370ppm以上に達する。この日変動のほか、季節、昼夜、風向き、植生による変動もある。しかし、たいいていの場合数時間程度の短時間内なら大きな変化は無い。

ところでこのアイデアは、生存者の呼気中に含まれる二酸化炭素が4% (40,000ppm)と、自然環境に存在する二酸化炭素に比べ高濃度であるために、ガレキ内空気の二酸化炭素濃度が周囲の濃度より高くなるであろう点に着目して、埋没生存者を見つけだそうというものである。しかしながら現実には、(1)二酸化炭素がどのくらいの濃度でガレキの間隙から流出するのか、(2)現場では周りの自動車、人等が放出する二酸化炭素によって紛れるかもしれない、微妙な濃度変化をうまく識別できるか否かについては、従前検討された例が無く不明であり、その上(3)高精度で二酸化炭素を測定できる小型、軽量の分析計を入手でき

るか否か、等の問題点を解決しなければならない。

まず二酸化炭素濃度に関しては、ガレキの形状、規模、風等の影響を実地に調べてみる以外に方法が無いと考えられる。その結果に基づいて、高精度、安定性の高い分析計を入手した上で、ガレキ場に適した測定方法や装置の実用化上の技術など、問題点について知見を得、解決しなければならない。

### 3. 試験の方法

実際のガレキ場を見つけることは、ほとんど不可能なので、我々は図1及び写真1に示す実規模のガレキ実験施設を作り実験を行った。ガレキ

場は底辺が一辺10m、上辺が5m、高さ2.5mのピラミット状にガレキを積み上げたものである。底辺中央には、長さ約11m、開口径0.8mの鋼製トンネルを通してあり、中央に1.2m立方の格子部屋があって、内部に被検者がはいりトンネルの出入口を閉じられる構造となっている。呼気中の二酸化炭素は、空気と混合して、ガレキの間

隙から外部に流出する。図1(2)で0～5の点はガレキ場中心から、水平に30°間隔で放射状に設定した線上で0は中心、0-1、1-2、2-3間は1.0m、3-4、4-5間は1.5mの間隔を

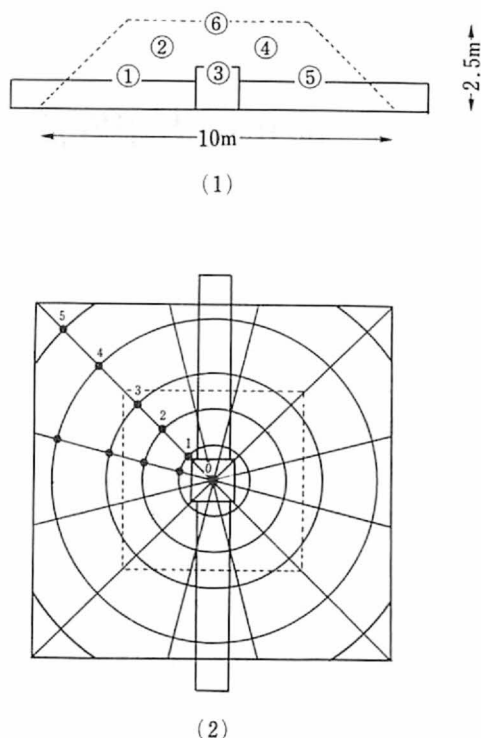


図1 ガレキ実験施設の側面図(1)と平面図(2)



写真1 ガレキ場の様子

において設けたガス測定口である。地上高0.5m、1m、2mの位置に、外径10mm、内径6mmの鉄パイプを予め層状に敷設した。ここからビニールチューブを通じ、実験室内

の赤外二酸化炭素分析計で風の影響など、濃度に関する基本的な分析、検討を予め行った。

次に開発した探査装置で、図1(1)に示す様に、高さ1m、2m、2.5m、側面の縦中央から横方向にそれぞれ2.5m、1m、0mの位置から、ガレキ内にステンレス管を1m挿入して二酸化炭素濃度を測定した。なお被検者は、総て成人男子1名とした。

4. 試験の結果

図2は風速約10m/秒の時、風下面でガレキ中に挿入するパイプの深度を変えながら、5分間ずつ測定した一例である。挿入深度が増すほど高濃度の二酸化炭素が検出できるが、風向、風速の変動によって、安定した濃度にはならないことを示している。3mの位置で、約20ppm 高い濃度が検出されている。さらに、完成した探査装置での測定例を表1に示した。表1の測定では、図1(1)の①～⑥の各測定点の5分間の測定値の最高と最低濃度の変動幅を示したもので、測定点③④⑤の方向に主に呼気中二酸化炭素の漏洩していることを示す。その他に、二酸化炭素は風下側のごく狭い範囲内に流出してくること、濃度は風速やガレキの形状に大きな影響を受けること、又、風上側の人、自動車による二酸化炭素も、風下側の狭い範囲内でしか検出できないこと等がわかった。探査に使用する分析計に必要なとされる測定範囲は、1～1,000ppm が適切かつ十分と判断できた。この濃度は、論理的

にも裏づけられるものである。

5. 装置の概要

上に述べたように、有風時、二酸化炭素は風下だけに流出し、風上及び風横では全く検出できないし、風速、風向によって、指示濃度は大きく変動して一定しない。戸外では通常、強弱にかかわらず風が吹いており、しかも風向も変動しているので、一点だけの測定では、なかなか漏洩場所は捕まらない。そこで上の分析結果などを踏まえ、原理的に図3

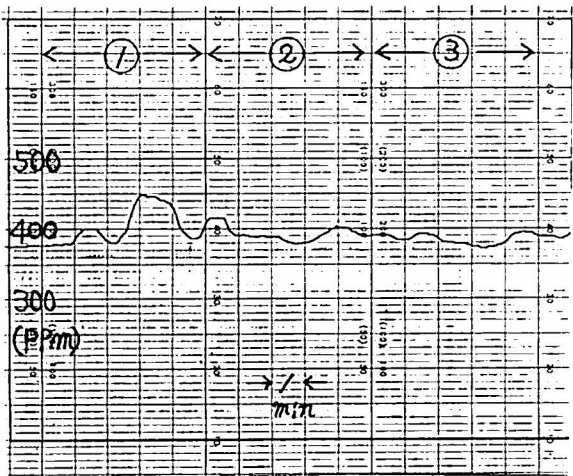


図2 深度と二酸化炭素濃度の測定例  
地上1m、天井中央から水平方向①  
1m、②2m、③3mの位置。風速  
約10m/s。自然状態370ppm

表1 濃度変動の一例

風速0.5～1.5m/s、風向、手前方向：自然状態370ppm

| 測定位置<br>No. | 地上中心から<br>(m) |      |      | 濃度変動<br>(ppm) |
|-------------|---------------|------|------|---------------|
|             | 高さ            | 水平距離 | 直線距離 |               |
| ①           | 1             | 3.47 | 3.61 | 375～370       |
| ②           | 2             | 2.06 | 2.87 | 380～370       |
| ③           | 1             | 3.00 | 3.16 | 415～380       |
| ④           | 2             | 2.06 | 2.87 | 383～377       |
| ⑤           | 1             | 3.47 | 3.61 | 398～388       |
| ⑥           | 2.5           | 0.00 | 1.50 | 375～370       |

の基本構成の分析システムを開発した。試作機は写真2に示す。この分析システムは、複数の、長さ10m位の細いビニール管の先端に金属パイプをつなぎ、風下側のガレキ面の数箇所にタコ足状に拡げて挿入するものである。まず試作機では6点のビニール管から容量の大きい補助ポンプでガスを吸引し、その吐出ガスの一部を、さらに本体分析計のポンプで吸引分析する。このシステムでは、一点又は数点から必要に応じ吸引分析できる。環境濃度に比べ、高い濃度が検出されれば、付属のバルブを1点ずつ閉じてゆくことによ

て、埋没位置もおおよその見当は付けられる。挿入管をガレキ面に挿入しなくても、5m離れた表面で数ppm～数十ppmの濃度を検出できた。しかしこの濃度は、総て風向、風速などの外的条件に依存する。この分析計は、1ppmの濃度差まで検出できる高感度なものなので、呼気中の二酸化炭素が漏洩してさえいれば、検出できる可能性は高い。必ずしも進入装置を内部に挿入する必要がなく、表面付近で検出できる可能性のある点が、一つの長所である。しかしガレキ面からの漏洩ガスは、空気中では拡散しやすいので、挿入管

は少しでも内部に挿入したほうが確実である。ガレキ中に挿入するパイプとしては、銅管やステンレス管を蛇管状に巻いておき、使用時に引き伸ばすと簡単に数mの長さになる。要は臨機応変の進入方法を用いれば良い。

現場に持ち込み使用するためには、装置は小型、軽量、高精度である事は勿論、そのうえ気温変動や振動、衝撃に対する安定性と強度が高くなければならない。このような要求を満たす本体探査装置として、植物の炭酸同化作用の測定に用いる、高感度分析計を転用、改造した。

完成した要救助者探査装置の仕様はづきのようなのである。

1：二酸化炭素検出範囲

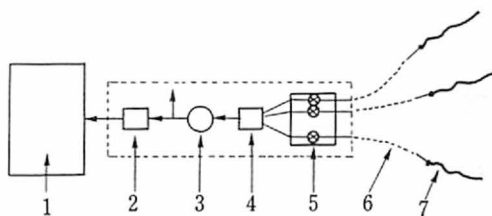


図3 分析計の原理図

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. 本体分析計 | 2. 除湿管   |
| 3. 補助ポンプ | 4. 集合管   |
| 5. 切替バルブ | 6. ビニール管 |
| 7. 挿入管   |          |

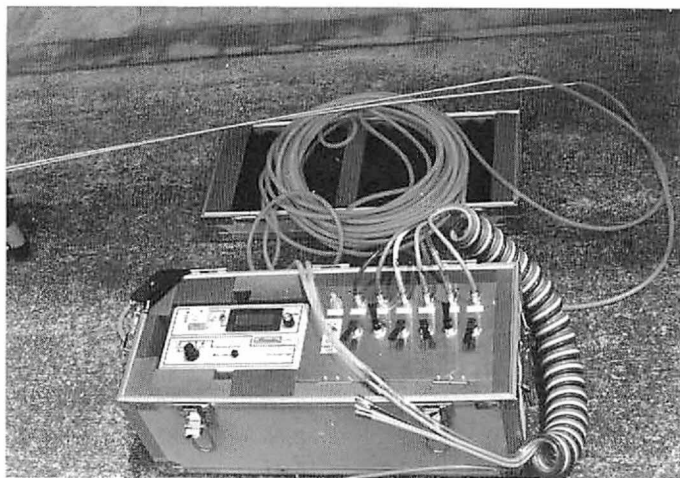


写真2 試作機の様子

- ； 1 ppm ～1,000ppm，感度 1 ppm
- 2：濃度のデジタル表示方式
- 3：測定濃度及び環境濃度との差表示方式
- 4：設定濃度警報方式
- 5：6点サンプリング，切り換えバルブ方式
- 6：先端挿入方式
- 7：8時間連続使用可能。自動車バッテリーから充電可能。
- 8：サイズ；幅21cm，奥行き55cm，高さ27cm
- 9：重量10kg，ステンレストランク入り。  
他に部品トランク 1 個，計 2 個

## 6. 性 能

屋外では，完全無風のことはありえず，常時風が吹いている。しかも風速，風向ともに変化している。風速が大きいと，濃度は小さくなる。例えば，風速が2倍になると，人間の呼吸速度が一定なので，二酸化炭素濃度は約1/2となる理である。測定にあたっては，救助隊は，まずおおよその風下側を的確に把握することが必要である。風横と風上では，全く検出不可能である。又，風上側に大勢の人が居たり，近くに自動車排気があったりするとうまく識別出来ない可能性がある。しかし，分析方法の特徴を良く理解して操作すれば，このような困難は克服できる。このシステムが有効に活用できるか否かの鍵は，装置よりもむしろ，本質的にガレキ場から二酸化炭素が漏洩しているか否かにかかっていると言っても過言ではない。ここのところは，それぞれ特徴のあるガレキ場の問題でもある。ヨドミのあるガレキ場や無風の場合には，この実験結果より高い二酸化炭素濃度が検出できる可能性が高い。

本分析計の主な長所と短所は，次のようである。

長所として，

- 1：検出感度が 1 ppm と鋭敏かつ応答が約 20秒と早い。
- 2：どんなガレキにも対応でき，無理に検出装置をガレキ深部に挿入する必要が無い。
- 3：安定性が高い。
- 4：耐用時間が長い。
- 5：周囲の雑音の影響を受けない。
- 6：取扱いが容易。
- 7：同時に広範囲の探索が可能，半径約10m。

短所として，

- 9：検出の成否は，風向，風速及びガレキ状態に応じて二酸化炭素が漏洩しているか否かに依存する。
- 10：周辺に二酸化炭素発生源があると，妨害される可能性がある。

## 7. あとがき

本探査システムは既に完成域に達しているが，なお現在補完的実験を行っているので，これが完了すれば，現地で実地に使用することが出来るものと考えている。なお実用に当たっては，他の探査装置と共同で，一つの有力な探査方法としての活用が期待出来よう。

終わりに当たり，二酸化炭素の検出を着眼したこの開発は，長谷川所長の助言により遂行したものであり，また佐々木弘明部長，松原美之利，渡部勇市両室長との共同研究であることを付言します。