

# 導入講義・AVSを利用したCAVEでの可視化手法

井門俊治、鈴木智人

埼玉大学工学部機能材料工学科

## 利用環境

SGI ONYX 3400、AVS/Express Developer Edition(Ver5.1)

## 目的

近年、実験コストの削減、大規模なモデルの事前実験として計算機によるシミュレーション解析が行われている。それにより生じるデータをどのように可視化するかが重要になってきている。ここでは、この科学的可視化のために、没入型3次元可視化装置CAVEにおいて、どのようにAVSを利用するか、实例をあげて講義する。

## 方法

各データをどのようにしてAVSに表示するかを、ここでは大きく分けて5つ説明する。各モデルに共通していることとして、AVSのViewerを通常のものからCAVE用のマルチパイプのものに代えれば、あとはPCでつくったネットワークでCAVEに表示することができる。また図1にデータ互換図をしめす。OpenGLは3次元表示機能に優れている。しかし、開発工程がおおくなる。AVSではCAVEで表示のための手間が格段に減少し、作業の高速化がはかれる。

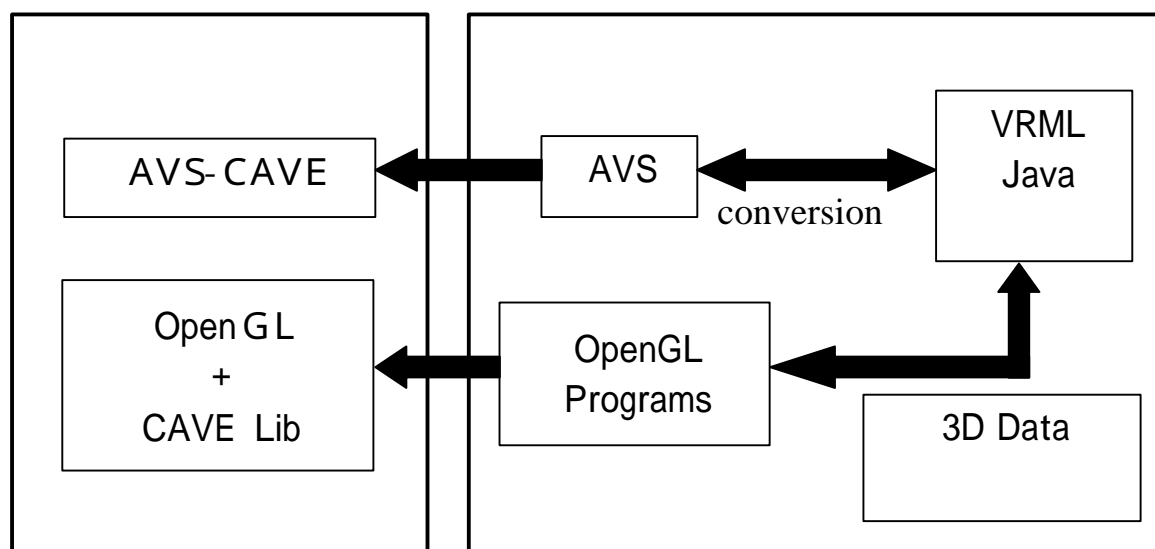


図1 3次元データの互換性

## 結果

### 1) 3次元分布をするスカラーデータの表示 (Field 形式)

点電荷がつくるポテンシャルの様子を例として挙げる。まずポテンシャルを計算するため次の(1)式を解く。

$$f(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|} \quad \cdots (1)$$

ここで3次元空間をx、y、z軸それぞれ均等に40の領域に分割する。それにより生じた41×41×41個の各節点でポテンシャル値を計算し、ファイルにその各値を書き出す。ここではそのファイル名をpoten.datとする。同時に、各接点のx、y、z座標の値もファイルに書き出す。ファイル名をx.dat、y.dat、z.datとする。AVSでそれらのファイルを読むためのFieldファイルを作成する。例を図2に示す。次に図3のようにネットワークを作成する。

```
# AVS field file
ndim = 3
dim1 = 41
dim2 = 41
dim3 = 41
nspace = 3
veclen = 1
data = double
field = irregular
coord 1 file = x.dat filetype=ascii
coord 2 file = y.dat filetype=ascii
coord 3 file = z.dat filetype=ascii
variable 1 file = poten.dat filetype=ascii
```

図2 Field ファイル例

Read Field のモジュールで先ほどのField ファイルをよみこませると図4のような絵が表示される。ここで明るい緑色は正電荷がつくるポテンシャルの等値面、濃い緑色は負電荷がつくるポテンシャルの等値面をあらわしている。等値面は、isosurface のモジュールを追加すればいくつでもふやすことができ、また面の色や透明度の変更もおこなうこともできる。

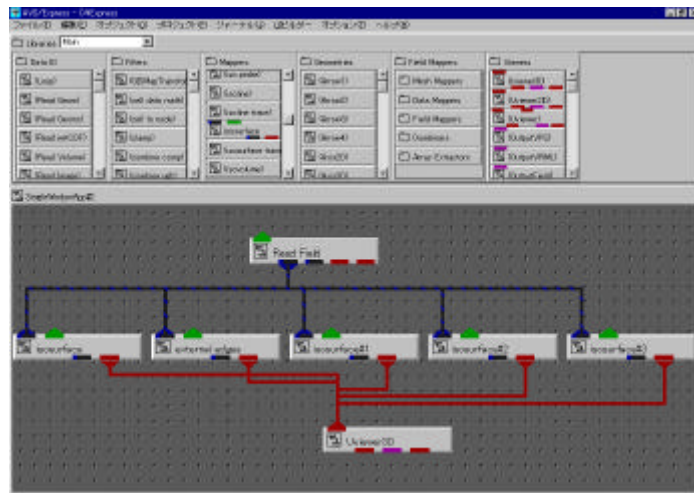


図3 ネットワーク図

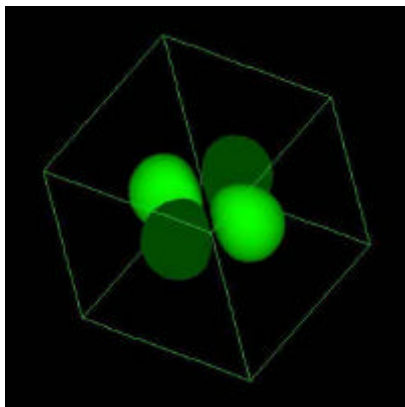


図4 4つの点電荷

## (2) 3次元分布をするベクトルデータ (Field 形式)

点電荷では、節点にスカラー値をあたえたが、磁界などのベクトル値をあたえることもできる。次の例としてコイルがつくる磁界を考える。当研究室では、ベースボールコイル、ミラーコイル、カスプコイル、ヘリカルコイルなどの磁界解析をおこなった。

ここではベースボールコイルがつくる磁界を例にあげる。まずビオ・サバル法をもちいて磁界を計算する。

$$\Delta \mathbf{B} = \frac{m_0}{4\pi} \frac{\mathbf{I} \times \mathbf{r}}{r^3} \Delta s \quad \dots (2)$$

ここで電流は、太さをもたない電流素片を足しあわせる事で近似し、電流の出入口は考慮しないものとする。各節点に、先ほどはポテンシャル値をあたえていたが、今回は各節点で  $B_x$ 、 $B_y$ 、 $B_z$  の値を計算し、それぞれファイルに書き出す。Field ファイルに  $x$ 、 $y$ 、 $z$  座標のファイルと3つのベクトル値のファイルを読ませるように書く。そして図5のようなネットワークにより、図6のような結果を表示することができる。青と赤の線は磁束線を表しており、今回は磁束線が生じている場所に応じて色を青と赤にわけている。濃い緑色の面は、磁束密度の等値面をあらわしている。先ほどは、ポテンシャル値のファイルを読み込むことにより、等値面を表示させたが、今回はモジュールにより、各節点でのベクトル値から磁束密度の大きさを計算し、等値面の表示をおこなっている。

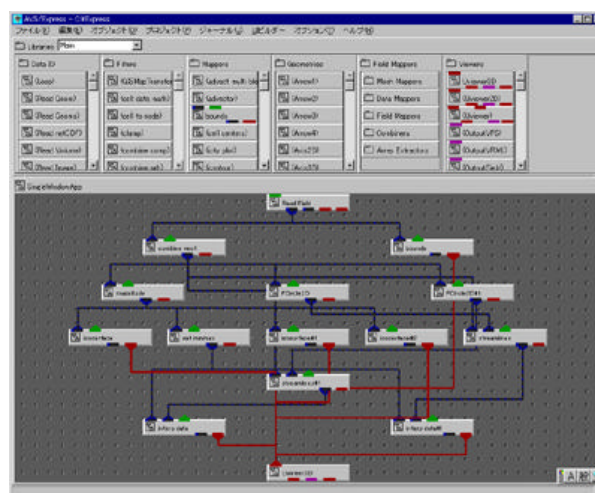


図5 ネットワーク例

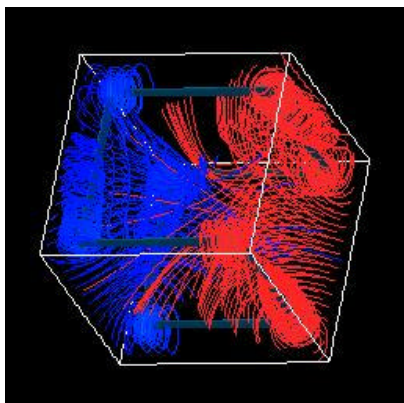


図6 ベースボールコイル

### (3) 3次元有限要素法データの表示 (UCD 形式)

3次元有限要素法を用いた電磁界解析について考える。図7のような中央部に窪みのある直方体モデルの電解解析をおこなう。初期値として電解を、図のように直方体の右上に100V、左上に0Vを与えて電解の流れを有限要素法により、ポアソン方程式を解くことで解析をおこなう。UCD 形式では、有限要素法の計算に使用した、節点データ、要素データ、計算によって生じた、ポテンシャルデータ、ベクトルデータを決められた形式に書くことによりUCDファイルを作成しAVSに表示することができる。図8がその表示例である。等値面を8枚、 $z$ 座標が2mのときの $x$   $y$ 面での電界の流れの様子をベクトルをもちいてあらわしている。また、等値面は loop モジュール、ベクトルの流れは advector モジュールを用いることで簡単にアニメーション

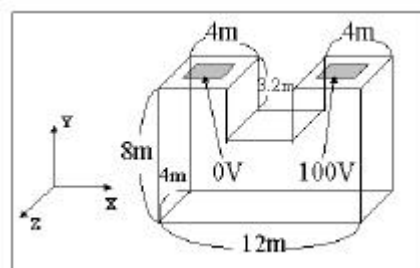


図6 電解解析モデル

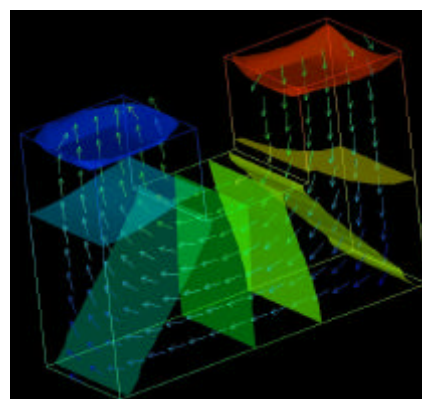


図7 窪みがある直方体の電解解析



をおこなうことができる。図 9 が advector モジュールをもちいてアニメーションをおこなった例である。直方体中央にフリーメッシュメッシュ法とアダプティブ法をくみあわせることにより、誤差がすくなるように要素分割を行って円柱状の穴をあけている。図の左上の 1 辺に 1 0 0 V、右下の一辺に 0 V を初期値としてあたえ電解解析をおこなっている。advector モジュールを用いてアニメーションを行うことにより、電解の流れが中央の円柱をどのように避けて流れるかを詳細にすることができた。

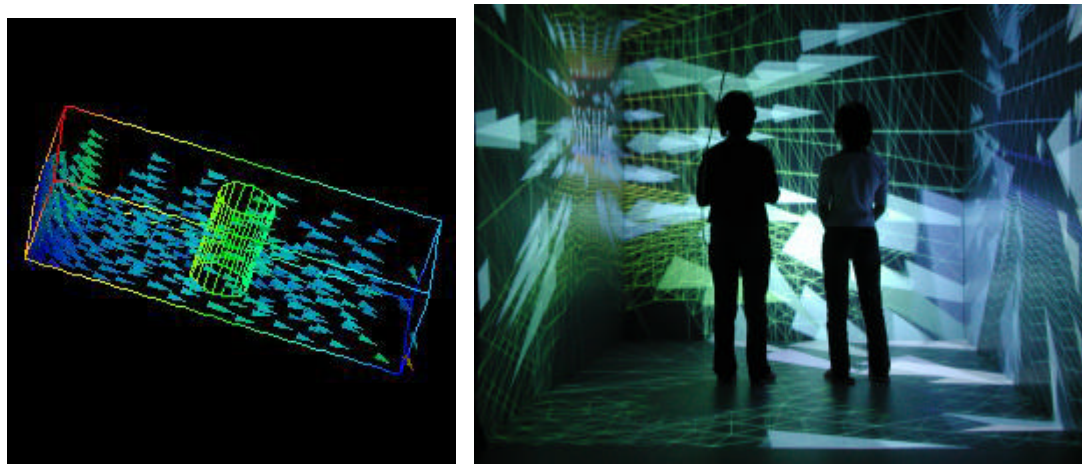


図 9 円柱状の穴があいている直方体の電解解析

#### ( 4 ) 粒子運動のアニメーション ( MGF 形式 )

イオン源装置、矩形マグネトロン装置の磁界解析をおこない、電子軌道追跡もおこなった。磁界解析は、イオン源装置では永久磁石とフィラメントを流れる電流がつくる磁界、矩形マグネトロン装置では永久磁石がつくる磁界を、電流がつくる磁界は ( 2 ) 式のピオサパール法、永久磁石がつくる磁界には、磁気クーロン法をもちいた。磁気クーロン法に式は式 ( 3 ) であらわされ、

$$\Delta \mathbf{B} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta m}{r^2} \cdot \frac{\mathbf{r}}{r} \quad \dots ( 3 )$$

上式を永久磁石の表面について積分することにより磁束密度をもとめる。電子の運動は磁場によるローレンツ力と衝突による力のみによって、式 ( 4 ) の運動方程式に示される。

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \mathbf{F}_{col} \quad \dots ( 4 )$$

電子の運動は、式 ( 4 ) をルンゲ・クッタ・ギル法とモンテカルロ法を用いてとくことにより得る。モン

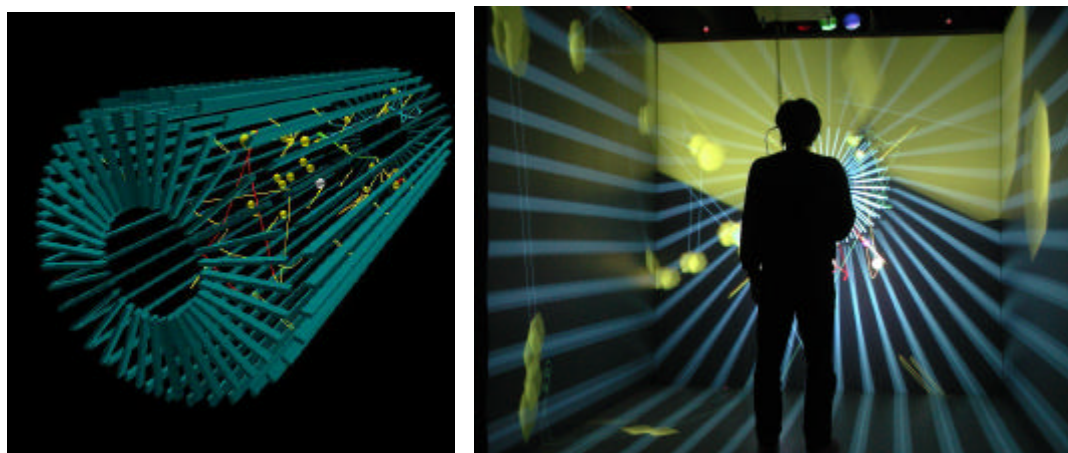


図 1 0 中性化セル装置

モンテカルロ法は衝突の計算に用いている。衝突の種類は、電離、励起、弾性の3種類とした。矩形マグネトロン装置の電子の初期位置は、乱数によって決定している。電子の平均自由行程や衝突断面積、微分断面積などは、電子-Ar 原子の衝突において求められた値を用いている。電子軌道追跡と衝突点分布の様子を AVS の MGF 形式に書き出すことにより、可視化をおこなった。図 1 0 に中性化セル装置、図 1 1 に矩形マグネトロン装置を示す。この2つの絵はすべて MGF 形式でかかれている。図 1 0 の108本の緑の直方体は永久磁石、16本の黄色い線はフィラメント、中央の線は電子軌道の軌跡、赤い玉は、アニメーション中の電子、黄色い玉は、衝突点をあらわしている。図 1 1 の青い直方体は上面が N 極の永久磁石、赤い直方体は上面が S 極の永久磁石をあらわしている。電子軌道の軌跡をエネルギーによりグラデーションをつけた線であらわしている。電子が磁力線に巻きつきながらドリフト運動をし、数回の電離衝突により次第にエネルギーがなくなっていく様子がわかる。従来使用していた可視化ツールとしての VRML ( Virtual Reality Modeling Language との表示例の比較もおこなった。図 1 2 に VRML、図 1 3 に AVS を用いた負イオン源装置の電子軌道の可視化結果を示す。VRML、AVS の比較については次の結果 5 で述べる。

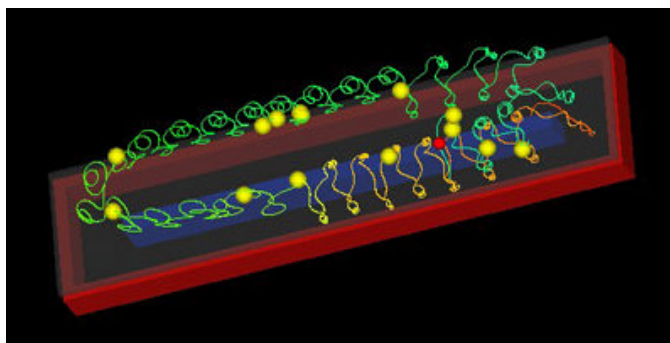


図 1 1 矩形マグネトロン装置

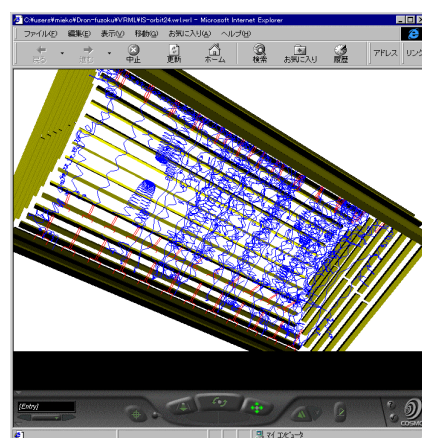


図 1 2 負イオン源装置の VRML 表示

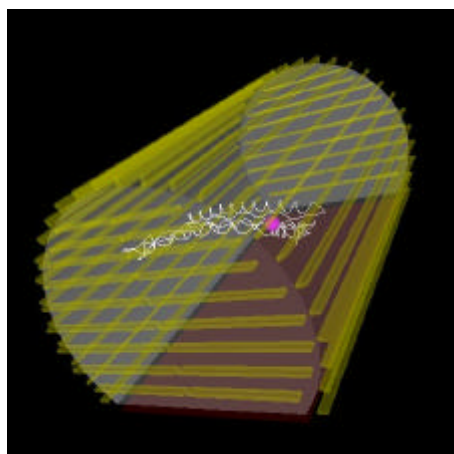


図 1 3 負イオン源装置の AVS 表示

#### ( 5 ) 自然現象の可視化 ( MGF 形式 )

雷と花火の様子を AVS の MGF を用いることにより可視化した。雷は、3次元空間に初期座標を定め、その初期座標からの垂直下方向のみの点移動と雷の分割を、モンテカルロ法をもちいることによりシミュレーションをおこない、それを点のデータとして書き出した。その点を円柱の底面、上面の中心とし、円柱をつなぎあわせることにより可視化をおこなった。ここで従来使用していた可視化ツールとしての VRML と AVS の MGF の比較をおこなった。円柱一本のもののプログラム例を図 1 4 , 1 5 に示す。MGF は円柱の

かき方が何種類があるが今回は、円柱底面、上面の中心座標、高さ、半径を指定して円柱をかく方法を用いた。VRML は MGF と違い回転の要素が入り、プログラムの長さからも推測できるように MGF の方がプログラミングが簡単である上、CAVE への表示も容易である。図 1 6 に M G F のその円柱を多数くみあわせることで作成した雷を

```
# Micro AVS Geom:2.00
column
ina
dvertex_and_color
16
1
0.0 0.0 0.5 0.0 0.0 -0.5 0.1 1 1 0
```

図 1 4 M G F による円柱

を示す。緑色の正五角形は地面とする。アニメーションをおこない順に円柱をだすことにより雷の雰囲気を出した。しかし、雷が増えてくるにつれアニメーション速度が遅くなるので、アニメーションの 1 コマ 1 コマを 3 次元の形状データとして保存し、それを G F A 形式のアニメーションとすることで処理の高速化をはかった。

```
#VRML V2.0 utf8
Transform{
translation 0.0 0.0 0.0
children[
Shape{
appearance Appearance{
material Material{
diffuseColor 1 1 0
}}
geometry Cylinder{
radius 0.1
height 1.0
}}]}
]]]
```

図 1 5 V R M L による円柱

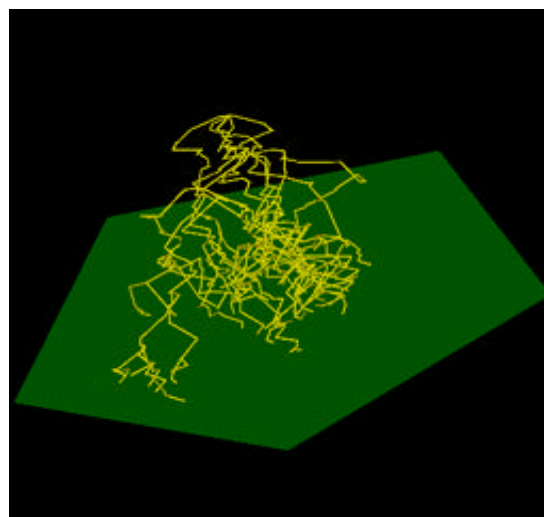


図 1 6 M G F による花火のアニメーション

花火は初期位置に粒子を多数配置し、その位置から全空間に対し、乱数をもちいて速度方向ベクトルをさだめた。ただし初速度の大きさは一定とした。その速度方向ベクトルを各粒子の初期条件とし、粒子 1 つずつ運動方程式をとくことで粒子の軌道をもとめた。また花火の光を表現するために玉の色を黄色とオレンジの 2 種類、乱数により定めた。可視化結果を図 1 7 に示す。これは粒子を 1 0 0 個とばしており、初速度の大きさを 1 0 0 m / s とした。下の建造物はエッフェル塔であり、その上空に花火を打ち上げてみた。エッフェル塔の A V S への表示は次の結果 6 で示す。



図 1 7 花火

#### ( 6 ) 3 次元 C G データの表示

P C で作成した C G を A V S に表示することをおこなった。Read Geometry モジュールをもちいることにより DXF、S T L、V R M L (ただし V R M L 1 . 0 ) のファイルを、また Read LightWave3D モジュールをもちいることにより、l w o ファイルを A V S で表示することが可能となる。D X F ファイルの表示例が結果 5 の図 1 7 のエッフェル塔である。データ変換をおこなうことなく C A V E を用いて可視化し、あらゆる角度、方向から C G をみることは、P C の 2 次元の画面では得ることのできない発見があった。

#### ( 7 ) C A V E への表示

結果 1 ~ 6 を C A V E に表示した。可視化に C A V E を用いることにより、四面スクリーンの中に没入することで立体的可視化や観測者の動きに応じた対話的表示が可能になり、その特性を生かすことで対象物を普段の P C のディスプレイとは比べ物にならないくらい詳細に確認することができた。

### **結論**

A V S を用いてあらゆる形状のデータを可視化することができた。可視化をおこなうことにより、普段目でみることができない電磁界の形状や電子軌道などを確認し理解を深めることができた。また自然現象である雷と花火の可視化をおこなうことができ、C A V E を用いることによって自分がその現象をあたかも体験しているような感覚をあげた。