

CIP法を用いた爆発の数値シミュレーション

05424514 澤井 健太

1. 爆発と惑星表層環境

惑星の表層では、火山噴火による爆発や小天体の衝突など、様々な爆発現象が生じている。比較的に小さな規模の爆発はその周囲に局所的な影響を及ぼすだけであるが、大きな規模の爆発は全球規模で長期間にわたる変化をもたらす。例えば、1991年に起こったピナツボ火山の噴火は20世紀最大規模のものであったが、噴火によって成層圏に巻き上げられた物質によって、地球の気温は0.5度程度低下した。また、中生代末にユカタン半島に衝突した小天体による爆発は、恐竜を絶滅させて中生代を終わらせるほどの影響を惑星表層環境に及ぼしたと考えられている。また、さらに大きな規模の爆発においては、爆発によって生じる衝撃波が周囲にある大気を加速することで、大気を惑星の重力圏外に吹き飛ばし、惑星大気の組成や量を変える可能性もあると考えられている。

本研究では、爆発現象の数値シミュレーションをおこなうことを目的に2次元の流体計算コードを作成し、成層した大気中における爆発現象の数値シミュレーションをおこなった。

2. 基礎方程式とその解法

流体を記述する基礎方程式として、連続の式、運動方程式、エネルギー方程式を用いた。

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) &= 0 \\ \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} &= -\frac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{g} \\ \frac{\partial P}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) P &= -\gamma P (\nabla \cdot \mathbf{u})\end{aligned}$$

基礎方程式は移流と非移流を分離して、移流はCIP法を、非移流は差分法を用いて解いた。また、数値振動を抑えるため人工粘性を加えた。

CIP法は矢部孝らによって提案された計算方法である。CIP法は格子上的物理量に加えて、物理量の空間微分値も使うことで、精度の高い計算を可能にする。CIP法には数値拡散が少ないという利点があり、物理量が急激に変化する場合でも、精度よく計算を行うことができる。

3. 数値計算

計算は水平30km、鉛直30kmの領域で行った。軸対称な爆発のみを扱うことにして、左下に爆発をおき、左端の境界は固体壁とした。また地面である下端も固体壁とした。上下左右すべての境界はfree-slip条件とした。境界における反射の影響を抑えるため、右端と上端の境界には擾乱を減衰させるスポンジ領域を設けた。

初期における大気は静止しているものとして、鉛直の温度減率は下層10kmを6K/kmとし、その上は等温とした。また、圧力と密度は静力学平衡が成り立つように状態方程式を使って与えた。時刻0において、計算領域の左下の数グリッドに爆発の規模に応じたエネルギーを加え、そこから1000秒の時間発展を計算した。

4. 計算結果

図1はシミュレーション結果の一例である。爆発から700秒後について、初期状態との温度差と風速ベクトルを表示している。

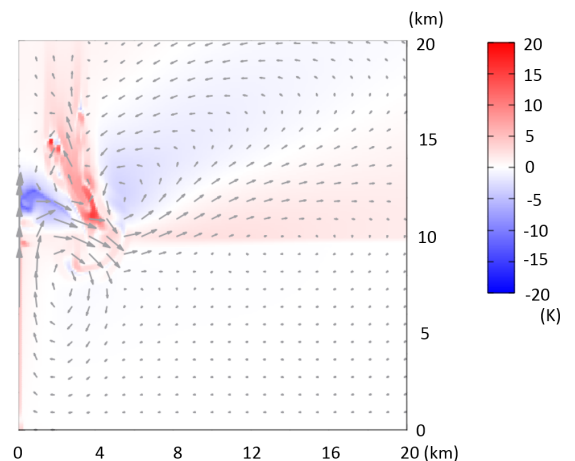


図1: 爆発から700秒後の温度偏差と風速。爆発のエネルギーは 10^{13} J

参考文献

矢部孝ほか (2003) 「CIP法」, 森北出版, pp.222.

Yabe and Aoki(1991) Comput. Phys. Commun. 66, 219-232