

## 水中爆発に伴う水中圧力波の特徴

### Features of pressure wave in water to accompany the underwater explosion

# 山本 裕朗[1], 谷口 宏充[2], 大島 弘光[3], 火山爆発研究グループ 谷口 宏充

# Hiroaki Yamamoto[1], Hiromitsu Taniguchi[2], Hiromitsu Oshima[3], Research Group on Volcanic Explosion Taniguchi Hiromitsu

[1] 東北大・理学研究科・地球物質科学, [2] 東北大・東北アジア研セ, [3] 北大・理・有珠火山観測所

[1] Inst.Mineral.Petrol.Econo.Geol.Tohoku Univ, [2] CNEAS, Tohoku Univ, [3] Usu Volcano Observatory, Hokkaido Univ

海底火山活動の観測に備えて、爆源の水深が比較的浅い場合の、水中爆発に伴う水中圧力波の特徴を調べた。そしてとりわけ衝撃波とバブルパルスの最大ピーク圧と及びバブルパルスの周期についてスケーリング解析を行い、爆源の水深が比較的深い場合と比較し、およぼす影響について考察を行った。

従来の水中爆発に伴う圧力波の研究では、爆源の水深を比較的深く設定しており、水深が比較的浅い場合の水中圧力波の特徴については不明な点が多い。水深が比較的浅い場合は深い場合と異なり、衝撃波とバブルパルスのような直接波の他に、圧力波が水底や水面などの境界面と反射して生じる反射波が直接波と重なるため、観測された圧力波形は複雑な波形を示す。また燃焼ガスの収縮に伴いバブルパルスと呼ばれる2次圧力波が生じるが、爆源の水深がガス球の半径がよりも小さい場合には、ガスが収縮前に水面上に排出されるため、バブルパルスは現れないなどの違いがある。

今回の実験では、北海道洞爺湖畔の水深34.2mの地点で、ダイナマイト薬量を100gから4000gに変化させ、水面発破、吊るし発破(水深0.79mから10.0m)と底付け発破(水深34.2m)を行った。各発破についておいては、爆点から水平距離で12mと45mの地点の水深5mに各1個のピエゾ水中圧力センサーを設置し、10kHzのサンプリング周期にてダイナマイトの爆発に伴う圧力波を測定した。

その結果得られた圧力波形は、現れるパルスの数によって次の2種類に分類できる。

- |    |                               |
|----|-------------------------------|
| 1) | 単一で鋭いパルス + 後続する複数の鈍いパルス       |
| 2) | 3回の鋭いパルス + 鋭いパルスに後続する複数の鈍いパルス |

1)は水深が0.79mより浅い発破で、2)は水深3.15m以深の発破でそれぞれ観測された。1)と2)の両者において最初に現れる鋭いピークは衝撃波であり、2)の2、3番目のピークは最初のピークよりも立ち上がりが鈍く、最大ピーク圧も1番目の数分の1であることからという特徴にもとづきバブルパルスであると考えられる判断される。

衝撃波の最大ピーク圧については、水面発破および底付け発破の全てと、吊るし発破の一部を除き、爆源の水深が比較的深い場合のスケーリング則がほぼ成立する。

バブルパルスの最大ピーク圧は、一般的に時間の経過とともに減少することが知られているが、今回の実験では2番目のピークが最大値をとり、3番目以降は1、2番目のピークの1/10以下に減少する。また、バブルパルスの周期は、水を非圧縮性流体と仮定することにより流体力学理論によって求められ、爆薬のエネルギーの1/3乗と水深の $-5/6$ 乗に比例することが予測期待される。爆源の水深が比較的深い場合には、実測値はこの理論値と実測値はよい一致を示す。ところがしかし今回の実験では、同じスケール化水深( $D_s = \text{水深(m)} / \text{薬量(kg)}^{1/3}$ )の場合には、バブルパルスの周期は薬量の1/3乗と水深の $-5/6$ 乗の積に比例するが、スケール化水深が異なる( $D_s = 5$ および10)と、理論値から大きくはずれることが分かったという結果が得られた。すなわちバブルパルスの周期は、薬量と水深の $-5/6$ 乗、あるいは薬量の1/3乗と水深の $-5/18$ 乗の積に比例する。前者の場合は、ガス球のエネルギーが薬量の3乗に比例することになるが、一般的に爆発のエネルギー量は薬量に比例すると考えられているので、前者の可能性は低い。したがって、ガス球のエネルギーは水深の $5/3$ 乗と薬量の積に比例すると考えられる。言い換えれば、ガス球のエネルギーはガス球の最大半径の3乗と静水圧の積に比例するので、ガス球の最大半径は水深の $2/9$ 乗と薬量の $1/3$ 乗の積に比例する。つまり、今回の実験では水深が浅くなるほど水深の $-5/9$ 乗の割合でガス球の最大半径は小さくなる。このようにガス球の最大半径が水深によって変化する理由として、ガス球の変形と分裂が考えられる。浅水中ではガス球の上部と下部間の圧力勾配が大きいため、ガス球の膨張と収縮に伴って変形が生じ、分裂したことが考えられる。