



Title	北朝鮮の核実験は「失敗」なのか：爆縮型核実験の技術的困難さ
Author(s)	竹内, 俊隆
Citation	アジア太平洋論叢. 2006, 16, p. 139-157
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/100032">https://hdl.handle.net/11094/100032</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 北朝鮮の核実験は「失敗」なのか －爆縮型核実験の技術的困難さ－

竹内俊隆\*

## はじめに

北朝鮮の朝鮮中央通信は、同国が地下核実験を平成18年（2006年）10月9日に成功裡に実施した、と発表した。実験時刻は現地時間の午前10時35分40秒前後で、実験場所は舞水端里がある咸鏡北道花台郡から万塔山がある同道吉州郡のあたりと推定されている<sup>1)</sup>。当初は、威力が低かったせいもあり、核実験ではないとの可能性も指摘されたが、後に空中での放射性核種採集により核実験であると断定された<sup>2)</sup>。わが国が属する北東アジアでは、中国が約40年前の昭和39年（1964年）10月に実験をして以来、ついに二番目の核実験実施国が出現した。なお、北朝鮮は実験開始の20分前に中国にその旨通告し、中国は直ちに米国、日本、韓国に通告したそうである<sup>3)</sup>。

この核実験のタイミングとしては、単なる偶然かもしれないが、金正日が朝鮮労働党の総書記に就任した日の一日後（1997年）、朝鮮労働党が創設された日の一日前である（61年前）。また、わが国の安倍首相が、首相として初めて訪韓したその日に行われた<sup>4)</sup>。

本稿は、同年11月中旬までに公開された資料に基づいて、技術的側面に焦点を当てながらこの核実験を検証するものである。北朝鮮はプルトニウム型<sup>5)</sup>の4 ktの威力を持つ核爆発を目指したが、実際は1 kt前後の威力しかなかったと推測されている<sup>6)</sup>。そのため、北朝鮮の核実験は「失敗」であるとの説が有力視されて

---

\* 大阪外国语大学 国際関係講座

いる<sup>7)</sup>。この威力が想定以下を「失敗」の判断基準とする考えを背景に、北朝鮮の核爆発技術は初期の未発達段階にあるとの解釈が成立しうるが、本稿ではその種の判断基準や解釈に警鐘をならしたい。

本稿の主目的は、北朝鮮が実施したとされている爆縮型核爆発の解説を通じて、その技術の高度さ・困難さを説明し、4 ktを想定しても1 kt程度に低下することは、技術的な遅れを必ずしも意味しないことを説明することにある。また、今回の核実験に伴いさまざまな研究所や観測機関が推定した地震の程度や爆発の威力に差異があったが、本稿ではなぜそうした誤差が生じうるかなどの説明も行う。

なお、本稿の作成にあたっては、時間的な制約のため、論文化された専門的な資料はないに等しく、ほとんどをインターネットに依存した。また、繰り返しになるが、本稿の主目的は、この実験の政治的な意味や六者協議への影響などを分析するものではない。あくまでも技術的側面に絞って、爆縮型核実験の困難さを説明することにある。その含意（インプリケーション）として、「失敗」という判断に躊躇されないで、冷静な判断が出来るような材料を提供したいと思っている。言ってみれば、考えるための資料提供を基本的な目的とする（英語で言うfood for thought）論説でしかないことを、あらかじめお断り申し上げる。

## I. 地震波

### 1) 観測結果

冒頭で言及したが、北朝鮮は、平成18年（2006年）10月9日午前10時35分少し過ぎに、北部の日本海側にある咸鏡北道花台郡から同道吉州郡の辺りで核実験を実施した。正確な実験箇所および規模（威力）は、いろいろな機関の推定に微妙な誤差があり、いまだに明確になっていない。

わが国の観測結果をまず紹介しよう。気象庁の観測によると、地下核実験に伴う地震の発生時刻は10時35分頃で、場所は北緯41.2度、東経129.2度、深さ不明、マグニチュード4.9であり、震源付近は「地震活動が極めて低い地域」とされている<sup>8)</sup>。九州大学地震火山観測研究センターは、北緯40.4度、東経129.8度が震源地で、マグニチュードは4.4としている。そして、自然現象としての地震で観

測されるS波があまりなかったので、人工の地震であるとし、威力はTNT換算で250t程度と推測している<sup>9)</sup>。

米国の地質調査所は、同時刻に、北緯41.311度、東経129.114度を震源とするマグニチュード4.2の地震があったとしている<sup>10)</sup>。韓国の地質資源研究所地震研究センターは、13日には舞水端里近郊が震源地でマグニチュードは3.58であり、TNT火薬換算で400–500tと推定し、最大でも800tと発表した。しかし、この推定震源地は他諸国と異なったこともあり、15日になって修正され、震源は北緯41.275度、東経129.095度とされた。この推定位置は、他諸国や同じ韓国の気象庁の推定箇所に近い。同センターの池憲哲（チ・ホンチヨル）所長によると、「当該地域は中生代の花崗岩で形成された金属鉱山地域で、地震波が吸収されたり緩和されることなくそのまま伝わったと見られる」。なお、韓国科学技術部は、マグニチュードを3.9に修正している<sup>11)</sup>。

## 2) 地震波による観測方法<sup>12)</sup>

地下核実験の探知方法には、放射化学的、圧力波（流体力学的）、および地震波方式があるが、通常は地震波<sup>13)</sup>方式が用いられる。放射化学的方式と圧力波（流体力学的）方式は、爆発地点に近くないと用いられないからである。爆発の地震学的規模の推測に比較的大きな差異が見られるのは、爆発の威力（エネルギー）のうち地震波（エネルギー）になるのはどの程度かという爆発の地震効率の測定問題があるからだ。実験場所の特定も含めて、正確に推測するためには、実験を幾度となく繰り返す必要がある。

容易に想像できるように、地震効率は爆発実験の場所の土や岩石の種類によって大きく変わる。湿った沖積層では乾いたところよりも効率は高い。また、地下実験を大きな乾いた空洞中で行うと、周辺岩盤への爆発の衝撃強度が低下し（デカップリング）、効率をきわめて小さく出来る。地震波が伝播する地質がどのようにになっているかをも勘案して、地震効率を計算しなければいけない。デカップリングの手法を使えば、実験規模のごまかし（実際より小さく見せる）が可能になる。今回の実験は予定した4ktより実際の威力は小さかったと言われているが、北朝鮮が意図的にデカップリングしたとの情報はない。今回の実験は、北朝鮮が

世界にその核実験能力を誇示するために行ったと思えるので、デカップリングをわざわざする誘因は存在しないと思える。

### 3) マグニチュードと爆発の威力

実験場の地質の条件によってもちろん変わるが、地震のマグニチュードと爆発威力の関係は、堅固な地質で120kt以下の実験ならば、 $Mb = 4.262 + 0.973 \log Y$ が成立する。なお、Mbはリヒタースケールによる地震（実体波）のマグニチュード、Yは核爆発の威力を意味する。米国地質調査所が発表したMb=4.2は、この計算式では0.9ktに相当し、CTBTOが発表したMb=4.0は0.5ktに相当する<sup>14)</sup>。

これは、今までの核実験実施諸国が最初に行った実験の威力よりも、はるかに低い数字である。ちなみに、核兵器国五カ国が実施した最初の実験の威力は、米=21kt、ソ連=22kt、英=25kt、仏=60~70kt（以上は、プルトニウム型）、中国=20kt（ウラニウム型ではあるが爆縮型と思われている。）とされている<sup>15)</sup>。

報道されたように北朝鮮の核実験の想定威力が4kt程度であるならば、正確には何度か実験して測定しないとわからないが、実験箇所周辺の岩石は花崗岩で固い地盤とされているので、実験の結果生じる地震のマグニチュードは4.9前後になる公算が大きい<sup>16)</sup>。

わが国の気象庁の発表はマグニチュード4.9になっているので、この予測に即した数字であるが、他の観測結果はいずれも気象庁の発表数字を下回っており、マグニチュードが4前後から4台半ばの数字が多い。マグニチュードでは0.5を中心とする差であり、わずかなように見えるかも知れないが、威力に換算すると3倍程度の差になるので、十分に意味のある相違になる<sup>17)</sup>。

ロスアラ莫斯研究所のある地震学者は威力を0.5~2ktの間と推定し、信頼度90%で1kt以下としている。コロンビア大学の学者は0.4ktと推定し、68%の信頼度で威力は0.2~0.7ktであり、95%の確率で1kt以下としている<sup>18)</sup>。いずれにせよ、1kt以下であることはほぼ間違いないように思われる。北朝鮮が中国に通告した通り4ktの爆発威力を意図したとすると、1kt以下では威力が低すぎるので、この実験は失敗ではないかとの説が浮上する。

## II. 核実験との確認

米国の国家情報長官が10月16日に、10月11日に収集した空気の標本を分析した結果、核実験であると確認し、威力は1 kt以下であるとの声明を発表している<sup>19)</sup>。

そもそも、どうやって核実験であると確認するのであろうか。まず、この点を明らかにしておきたい。核実験では、放射性の希（貴）ガス核種を含めて分裂性の物質が生成される。主としてヨウ素131、ストロンチウム89、90、セシウム137などがある。ヨウ素131は半減期8日の $\gamma$ 線を放出し、核爆発で生成される放射性分裂物質の約2%程度を占める。半減期は比較的短いが、実験後の空中浮遊物の採取には十分な時間があるといえる。その他の核種も採取に特に問題はない。ストロンチウム89と90はそれぞれ放射性分裂物質の3%程度を占め、半減期はおのおの52日と28年程度である。セシウム137は、3~3.5%程度を占め、半減期は30年もある<sup>20)</sup>。

しかし、核実験と確定するのによく使われるのは、キセノンの同位体であるキセノン133とキセノン135である<sup>21)</sup>。半減期はそれぞれ5日と0.4日であり、化学的に不活性なので、時間の経緯や気象条件などにより希釈される可能性が低いからである。プルトニウム型分裂の場合、この両者の生成比率はわかっているので、半減期の相違を考慮して実験の日時を計算することが出来る。しかし、とくにキセノン135の場合は半減期がかなり短いがゆえに、迅速に空中で標本を採取する必要に迫られる。威力1 ktの爆発に必要なプルトニウム量は、わずか60 g程度でしかない（実際に分裂する量）。そのとき、両者はそれぞれ約2 g程度発生する。空気1 m<sup>3</sup>あたりキセノン133は1000、135は100程度の原子数さえあれば、検出可能である。言い方を変えると、検出可能な最小限量が0.001Bq/m<sup>3</sup>レベル程度と少ない上<sup>22)</sup>、キセノン133が検出できればそれで核実験と確認できる。同じ希ガスでも、クリプトン85は半減期が10.76年と長く通常の大気中にかなりの量が含まれているので、小規模実験で多少の変動があっても識別するのが困難である。

北朝鮮の核実験の場合に留意を要するのは、日本海上空で採集された核種が本当に北朝鮮から来たかどうかの確認である。韓国や日本の原子力発電所が起源である可能性も否定できないからだ。したがって、風向その他の計算も重要である。

ある推定によると、今回の北朝鮮の核実験の場合は、実験後3日目の終了時点で、日本海を約1000km進み、高さ1kmで幅200kmに広がったとされている。威力が1ktとして、未崩壊のキセノンの0.1%が毎日空気中に放出されるとする（通例的な状態）。それでも空気中のキセノン133と135の濃度は、それぞれ検出に必要な最低限値の100倍と10倍になる。したがって、検出は十分可能であり、核実験であったと確認できる。両者の濃度の割合により、実験日時の特定も可能である。

### III. 爆縮型核実験<sup>23)</sup>

#### 1) ウラニウム型とプルトニウム型

新聞報道によると、北朝鮮はプルトニウム型の核実験をしたと認めた<sup>24)</sup>。核爆弾には、ウラニウム型とプルトニウム型の二種類がある。両者の特徴を簡便に説明すると（詳細は後述する。）、ウラニウム型はウラン235（U<sub>235</sub>）を高度に濃縮する必要があり、これが簡単にはいかない。また、U<sub>235</sub>の濃度を100%近くに持つてなければ爆縮型でも可能であるが、そこまでの高濃度濃縮は容易ではないため、通常は砲身（砲弾）型（詳細は後述する。）の核爆弾になる。

ウラニウムの濃縮がなぜ難しいかを簡単に説明しておくと、天然ではU<sub>238</sub>が99.3%で、U<sub>235</sub>は0.7%しか存在しないからである。ウラニウム型爆弾のためにはU<sub>235</sub>の濃度をかなり上げる必要があり、濃縮装置や濃縮過程で資本がいる。それはU<sub>238</sub>もU<sub>235</sub>も化学的には同一なので（同位元素なので）、物理的な重量の相違を利用して分離せざるをえないが（通常使用される遠心分離法を想定している。その他に、ガス拡散法、レーザー法などがある。）、肝心の質量差もなきに等しい。時間と資本が入用な上に、原材料不足の公算が大きくなるためだ。

プルトニウム型では爆縮型のみ可能で、砲身型は不可能である。なぜかというと、中性子の放出率が高すぎて、早期爆発が起こってしまうからである。それに対して、爆縮型は、中性子が自然発生する自発核分裂（外部から中性子を吸収しなくとも起こる核分裂）問題にプルトニウム239（Pu<sub>239</sub>）で対処できる。そのため、原子炉級のプルトニウムでも兵器級<sup>25)</sup>と同様な効果を得ることが不可能ではない点が問題となる。原子炉級を兵器級として使用する場合は、中性子が発生す

ることから生じる早期爆発や高熱の発生（部品の信頼性や性能に影響する）、さらには放射能のレベルの高さなどが欠点としてあげられる。

プルトニウムの利点としては、発電用の原子炉から取り出し可能であり<sup>26)</sup>、濃縮の必要性はない。しかもPu<sub>239</sub>はU<sub>235</sub>よりも核分裂しやすく、より多くの中性子を出すので臨界量が少なくてすむなどがあげられる。欠点としては、原子炉から取り出した使用済み核燃料<sup>27)</sup>を用いてプルトニウムを抽出するが、使用済み核燃料はプルトニウム以外の放射性の分裂片を多数含むため、特別装置をつかって化学分離する必要がある。しかも、上記したが、放射性であるので作業員の安全確保を必要とする。高度な技術が要求され、その分構造が複雑になるなどの点があげられる<sup>28)</sup>。

## 2) 「失敗」の技術的要因

北朝鮮の核実験が本当にプルトニウム型であったとすると、それは爆縮型という意味でもある。爆縮型の場合、当初は少なくとも威力20kt前後の実験をするのが通例である。しかし、もし本当に北朝鮮が4kt程度の威力を狙ったとすると、最初からかなりの小型・軽量型の核弾頭を念頭においていた可能性が否定できない。核爆発装置の製造技術が以前よりかなり進化しているとはいえ、これはそう容易なことではない。ある資料では、技術水準が高ければ1kgのプルトニウムで威力1kt程度、3kgで20t程度が可能であり、低ければ3kgで威力1kt、6kgで20kt程度になると推測されている。この資料では、北朝鮮の技術水準は、「悪くても中程度」はあると見ている<sup>29)</sup>。

最初のプルトニウム型爆弾は、長崎に落とされた原爆でプルトニウムは6kg、威力は20kt程度であった。留意すべきは長崎へ投下された原爆の重量が4tもあつたことである。旧来のように飛行機から投下する重力落下型ならいざ知らず、現在は基本的にミサイルに核弾頭を搭載する。もちろん、最新型のテポドンでも4tもの核弾頭を搭載するのは不可能であろう。小型化・軽量化が必要なミサイル搭載型核弾頭を念頭において、出来れば500kg、重くとも1t程度の重量の核爆発装置を実験しようとしたと想定するのが自然ではないだろうか。これならば、スカッドミサイルで韓国が、ノドンミサイルで日本が射程内に入る<sup>30)</sup>。

おおよその推定であるが、スカッドBは射程が300kmで1000kg（1t）搭載可能、スカッドC（改良型）は500～600kmで600kg、ノドン1は1300kmで750kg程度である。したがって、500kg～1000kgがミサイルへの搭載を可能にする一つの目安といえるであろう<sup>31)</sup>。

核実験が失敗する技術的原因は、いくつも考えられる。たとえば、爆発装置自体に問題があり十分精密に作られていなかった、プルトニウムを圧縮するための爆発物の点火が同時に行われなかった、こうした圧縮用爆発物の形状が精密ではなかった、プルトニウムの量が不足した、純粋なプルトニウム以外の不純物が含まれていて爆発が早すぎた、中性子発生装置に問題があった、中性子反射体の性能が良くなかったなどが考えられる<sup>32)</sup>。

以上の中でも特に技術的に高度であり、「悪くても中程度」の技術水準とみなされている北朝鮮にとってかなりの障害となりうる原因としては、次の三つが考えられる。第一に、あるたった一つの中性子が、プルトニウムが臨界に達する直前に連鎖反応を起こす場合である。この直前とは、千万分の一秒単位の時間である。たった一つの中性子が失敗の起因になりうることもあわせて考えると、いかに精密さを要求されるかがわかる。第二に、プルトニウムが崩壊する過程で生じる $\alpha$ 波が、余分な中性子を発生させてしまい、核爆発装置に残ってしまっている不純物と反応する場合である。第三が、中性子発生装置の作動が早すぎるか遅すぎてタイミングを逸してしまう場合である<sup>33)</sup>。

### 3) 砲身型と爆縮型<sup>34)</sup>

核爆弾には、基本的に砲身（砲弾）型と爆縮型の二通りがある。砲身型はきわめて簡単な構造で、砲身の一方の端から高濃度の濃縮ウラン（臨界量以下）を、もう片方の端に設置してあるやはり高濃度の濃縮ウラン（臨界量以下）へ向けて発射し、その衝突で臨界量に達する構造である。実験なしでもほぼ期待通りの爆発がおこるとされ、実際にこの型の爆弾が事前の実験なしに広島で使用された。核分裂性物質さえあれば、テロ集団でも製造自体は容易であるとの基本認識がある。簡単で頑健な点は（製造する側からすると）長所であるが、反面、非効率でかなりの量の高濃縮ウランが製造に必要となる。つまり、ミサイルに搭載可能な

小型化・軽量化には適していない。

砲身（砲弾）型では、プルトニウム型の爆弾はできない。なぜかというと、使用済み核燃料からプルトニウムを抽出・濃縮するが、 $\text{Pu}_{239}$ ばかりでなく、その同位元素の $\text{Pu}_{240}$ も少量ながら含まれているためである。 $\text{Pu}_{240}$ は、自発核分裂を起こし、その分裂片は中性子過剰となって、中性子を外へ出す。そのため、砲弾が目標にぶつかって超臨界に達する前に分裂連鎖反応を起こす。すると、超臨界に達する以前に温度と圧力が急上昇し、まだほとんどの核が分裂を起こす前に小爆発（早期爆発）を起こしてしまう。一度小爆発を起こすと、臨界未満となってそれ以上は連鎖反応が進行しない。そのため、ほとんどのプルトニウムの核（コア）は分裂を起こさず、爆弾としては適当でなくなる。

これに対して、爆縮型は、臨界量以下の核分裂性物質の周りを極めて正確な形状の爆発物で囲み、中にある分裂性物質を圧縮することで高温・高圧にして密度を高める。密度が高いために、通常では臨界に達しないものでも超臨界状態になる上、中性子が原子の枠外に飛び出す前に他の原子核に衝突する可能性が高まる。この臨界前から臨界以上になる時間が極めて短いので、自然に中性子が多数発生するプルトニウムでも使用可能になる。中心部の核分裂物質を囲んだ爆発物の爆発は同時になければ（繰り返しになるが、千万分の一秒単位の厳密さである。）、同時に均等な圧縮が出来ずに爆発は起こらない。さらには、いったん圧縮された分裂性物質が元の非圧縮状態に戻る前に、中性子をぶつけて連鎖反応を起こす必要もある。だからこそ、かなり高度な技術力を持たないと、爆縮型の実験は成功しないと断言できる。

#### 4) 爆縮型の技術的困難さ<sup>35)</sup>

爆縮型をさらに詳しく解説すると以下のようになる。プルトニウム（ほとんどが $\text{Pu}_{239}$ だがわずかに $\text{Pu}_{240}$ あり）の完全（完全でなければいけない）球体 5 kg 程度（臨界未満と想定）を用意したとする。 $\text{Pu}_{240}$ が自発核分裂して中性子を発生し、連鎖反応が起こったとしても、臨界未満なのでわずかしか分裂連鎖反応がおこらず、持続はしない。大半の中性子がプルトニウム球体の外に出て行き、周囲の分裂を起こさない物質に吸収されるからである。この球体を一様（一様でなければ

いけない）に急激に圧縮し、プルトニウムの密度（単位体積あたりのプルトニウム核の数）を急増させる。すると、中性子がどの方向に飛び出そうが、必ずどれかの核にぶつかる確率が急増し、また球体の表面積が縮小しているので、球体外へ飛び出す中性子数が激減する。そのため、ほとんどの中性子が有効に分裂反応を起こす。結果として、臨界未満から一気に超臨界に達し核分裂連鎖反応が爆発的に起こる。これが一気に起こるために、 $\text{Pu}_{240}$ の自発核分裂による中性子が、連鎖反応を起こしている時間がなくなる。超臨界になったとたんに、爆弾の真ん中に設置した中性子発生装置が起動して、多数の中性子を噴出し、連鎖反応を起こさせる。

今述べたように、プルトニウムの核の中心部には中性子発生装置が置かれている（図1を参照されたい。）。中性子発生装置は、一番真ん中にポロニウムを置きその周囲をアルミのフォイルで包み、さらにその周りをベリリウム粉で囲んでいる。中心部にあるポロニウムは $\alpha$ 崩壊して $\alpha$ 粒子（ヘリウム原子核）を出すが、 $\alpha$ 粒子には物質を透過する能力がないので、アルミフォイルで遮断されて、外のベリリウム粉には行き着かない。つまり、中性子は発生しない。



図1 プルトニウム・コア

山田克哉『核兵器のしくみ』177頁

ところが、当初は臨界未満であったプルトニウム核も、爆縮されると一気に超臨界状態になる。しかも、アルミフォイルは破れ、ポロニウムから出た $\alpha$ 粒子は直接ベリリウム粉にぶつかってベリリウム核に吸収され、大量の中性子が発生す

る。この中性子が超臨界状態になりつつあるプルトニウムに入り、分裂連鎖反応を引き起こし、プルトニウムの核は大爆発を起こすのである。連鎖反応を確実に持続させるために、プルトニウムの核外に飛び出そうとする中性子を中に引き戻す目的で、中性子反射体をおく。重い物質が有効に反射体として機能し、重ければ重いほど良い。

完全に球体を維持しながら圧縮する方法も、爆縮型核実験の成功には極めて重要であり、また技術的に難しい（図2を参照されたい。）。球体を維持しながら大きさが縮小すれば、原子数の総数は同じでも核の密度を瞬時に大きく出来るので、臨界未満から超臨界に一気にもっていける。もし球体が少しでも崩れると、密度が上がりはずによっては小さくなってしまう。完全な球体を維持するためには、球体の全ての箇所に同時に同じ強さの圧力がかかる必要がある。

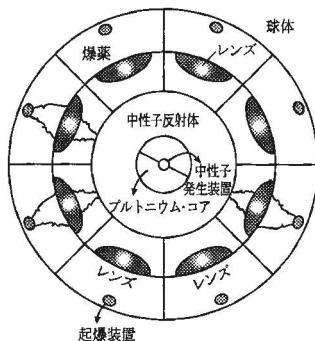


図2 プルトニウム爆弾の心臓部

山田克哉『核兵器のしくみ』181頁（名称を改変した。）

さらに言えば、中性子反射体の外側に均等に爆薬（高性能化学爆薬）を仕掛け、起爆装置で爆薬を同時に爆破させると、衝撃波が生じて球体の方向に向かって突進する。この衝撃波でアルミフォイルは破れ、プルトニウムの核を圧縮して超臨界に達し、分裂連鎖反応が瞬時に爆発的に発生して、今度は外側に向かって爆発を起こす。そのためには、反射体外に均等に配置された爆薬が、全部同時に寸分の違いもなく爆破を起こす必要がある。ここでも、誤差の糊代はきわめて小さい。それでも、球体であるプルトニウム核の表面部分全てに同時にまったく同一の圧

力がかかる保証はない。

最初の要件だけを考えても、衝撃波が全て正確にプルトニウム核の中心部に向かうことが必須の条件である。この「全て」と「正確に」が重要な点である。少しでも拡散すると、同時に同一の圧力はかかるず、効果がなくなってしまうからだ。これには衝撃波の行動に関する経験的（確率的）な知見が必要で、マンハッタン計画の中でも困難を極めた開発の一つである。

つまり、技術的に完璧と思っても、機械では感じ取れない職人芸に属する程度のほんの微妙な差異で、比喩的に言えばそのときの衝撃波の気まぐれで、実験が予想通りに行かない可能性があるということになる。だからこそ、何回か実験して経験的に想定範囲をしかも確率的に確定することが常識になっている。

蛇足的に申し述べると、こうした難しさにもかかわらず、高度な技術を持つテロ集団ならば、製造は可能であるとの認識もないわけではない<sup>36)</sup>。なぜならば、テロ集団が必要としている爆弾は、その爆発威力が想定とかなり異なるが、偶発的に爆発してしまう可能性がかなりあろうが、かまわないとされる可能性が排除できないからだ。要求する核爆弾の信頼性や安全性に、通常の国家が想定する程度と大きな差があるためだ。なにせ、米国その他の核兵器国は、この信頼性や安全性の確保を理由に、未臨界（臨界前）実験を続けているくらいである。

#### IV. 「失敗」と「成功」の判断をめぐって

技術的な説明が長くなってしまったが、爆縮型の核実験がいかに高度な技術および工学的技能を要するかわかつていただけたものと思う。今回の北朝鮮の核実験が意図した威力を大幅に下回ったことをして、「失敗」と判断することももちろん出来る。何が起因となって「失敗」したのか外部からはわからないが、この「失敗」を北朝鮮は詳細に検討・分析し、「失敗は成功の母」とするであろう<sup>37)</sup>。その意味で、「失敗」を大げさに喧伝し、北朝鮮の技術的未熟さを強調したとしても、それが将来的な「失敗」に繋がる公算は小さいと言わざるを得ない。むしろ、これだけ技術的に難しい爆縮型の実験であるにもかかわらず、さらに輪をかけて難しくする当初の想定4 ktという小規模爆発を、初めての実験で試みたこと

に留意が必要である。単に核爆発実験の成功を期するならば、大規模な爆発威力を持つ実験をすれば成功の確率は格段に上がったはずである。しかも、北朝鮮は世界に実験の実施をあらかじめ公表している。よほどの自信がなければ、出来ない行動ではないだろうか。

では「失敗」ではなく成功したといえる点は何であろうか。当たり前に思われるかもしれないが、最も重要な点である臨界には成功している。今後いろいろな核爆発装置を設計するであろうが、今回の実験から多くのことを学んだはずである。核爆発を達成したという事実は重要で、爆発のタイミングがほんの少し狂った（早かったか遅かった）というのは初回なので十分に起こりうることである。

小規模な実験にした理由も、いくつか推測できないわけではない<sup>38)</sup>。第一に、すでに指摘しておいたが、核爆発技術に一定以上の自信があったために、意図的に最初から小規模核実験に踏み切った可能性がある。小規模のほうが大規模実験よりはるかに技術的に難しい点は、何回か言及してきた。ミサイルに搭載可能にするためには核弾頭の小型化・軽量化を図る必要があるので、その早期実現を図る目的で敢えて挑戦したかもしれない。第二に、原子炉の稼動が順調に行かず、また使用済み燃料棒からの分離がうまくいかなかつたために、十分なプルトニウム量を確保できておらず、効率的・経済的に実験を実施しようと思った可能性も否定できない。しかし、この指摘に対しては、すでに十分な量を確保しているとの判断が一般的であると反論できる<sup>39)</sup>。第三に、地下実験ではあるが放射能の漏れや政治的な反応を危惧して、意図的に小規模な実験にしたのかもしれない。金正日が、核実験が近くの白頭山に「過度のゆれを与えないよう」指示したとの情報もある<sup>40)</sup>。

今まで爆縮型の越えるべき障害の多さや高さを説明してきた。今回の北朝鮮の実験のように 4 kt を想定していたが実際は 1 kt 程度の威力しかなかつたというような事態は、技術的にかなりの高水準にあったとしても、爆縮型の場合は十分に起こりうることと断定して良いように思われる。繰り返しになるが、何せ今回初めてのしかもより難しい小規模実験である。したがって、「失敗」というよりも、むしろ技術水準の相対的な高さを証明したという意味で、成功と判断してもよいのではないかと思える。「悪くても中程度」とは、すなわち最も低く見積もって

も中程度なので、それより良い評価に天井は設けていない。しかも、この資料が想定している基準となる技術水準は、通常の想定よりはるかに高いものである。それが、言外にかなりの水準に達している公算を示唆しているように思えてならない。

## おわりに

核実験自体に関して技術的な侧面に焦点を当てながら説明を加えてきた。特に北朝鮮が実施したと見られるプルトニウムを使用した爆縮型の説明をしてきた。一口に核実験というが、砲身（砲弾）型と異なり、爆縮型はかなり高度な技術水準が要求される。とくに、最初から威力4 ktという小規模な実験を意図したことは、かなり成功の確信がないと行えないものと判断した。今までの経験では、大規模な実験の方が成功確率が格段に上るので、最初の爆縮型実験は20 kt前後以上で行なうことが通例であった。北朝鮮は今回の核実験を予告しているので、まして失敗は許されない状況である。ならばなおさら、北朝鮮はその技術水準に大きな自信を持っていたと判断する。

大半の観測結果では、4 ktの威力を想定しながら実際は1 ktまたはそれ以下程度の威力しかなかった、と分析されている。そのため、今回の実験は「失敗」であったと一般的に評価されているようだ。たしかに、4 ktが1 ktでは四分の一であり、誤差が大きいとの判断も可能である。しかし、本稿は、最初の爆縮型実験にもかかわらず小規模な実験にし、少なくとも臨界には問題なく到達した点を評価したいと思う。最低限の目標は乗り越えたという意味で、「成功」といっても間違いではないと判断する。本稿で繰々述べたように、爆縮型の場合は、乗り越えるべき技術的な障害が、しかも高度な障害が多いからである。今回の実験が想定より小規模の威力しかなかった原因（または主因）は、早期爆発ではないかと本稿は憶測している。すでに何度か強調しておいたが、これは千万分の一秒単位の差異で発生しうる点を再度指摘しておきたい。早期爆発は、技術自体というよりも工学的な微細な差異でも発生しうる現象である。

今回の実験はどちらかというと「失敗」であったとし<sup>41)</sup>、武器化可能なきちん

と作動する核装置があると世界に示すために、北朝鮮は再度核実験をするであろう、と予測する向きもある。もちろん、信頼度の高い武器化（ミサイルに搭載可能）を目指すためには、想定威力を達成する必要がある。金正日の政治的判断次第ではあるが、その意味での今回の「失敗」を「成功の母」とし、想定どおりの威力を発揮する信頼度の高い核爆弾を目指す可能性は否定できない。残念ながら、それが今までの歴史の教訓である。

## 注

- 1) 北朝鮮が実験場所を公表していないこともあり、正確な場所は特定されていない。主として以下の情報をまとめた表現である。「実験場所は咸鏡北道万塔山か、地震研究センター」(Yonhap News)、<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20061016-00000014-yonh-kr>、宮本悟「北朝鮮による核実験の目的」日本国際問題研究所、<http://www.jiia.or.jp/column/200610/10-miyamotosatoshi.html>、"Statement by the Office of the Director of National Intelligence on the North Korean Nuclear Test", ODNI News Release No. 19-06, Oct. 16, 2006, "North Korea Conducts Nuclear Test", Oct. 10, 2006, Center for Nonproliferation Studies, Monterey Institute of International Studies, <http://cns.miis.edu>, "Nuclear Weapons Testing", Weapons of Mass Destruction (WMD), <http://www.globalsecurity.org/wmd/world/dprk/nuke-test.htm>。いずれも平成18年10月末前後にアクセス。なお、本稿で引用したインターネットへのアクセスは、特に断らない限り、すべて10月末前後である。今後の言及は割愛する。
- 2) "Statement by the Office of the Director of National Intelligence on the North Korean Nuclear Test", *ibid.*
- 3) Mark Mazzetti, "Preliminary Samples Hint at North Korean Nuclear Test", *New York Times*, Oct. 14, 2006, Anthony Faiola, Glenn Kessler and Dafna Linzer, "North Korea Claims Nuclear Test", *Washington Post*, Oct. 9, 2006, "Nuclear Weapons Testing", Weapons of Mass Destruction (WMD), *op.cit.*
- 4) "Nuclear Weapons Testing", Weapons of Mass Destruction (WMD), *ibid.*
- 5) Tom Shanker and David Sanger, "North Korean Fuel Identified as Plutonium", *New York Times*, Oct. 17, 2006.
- 6) 「<北朝鮮核実験>中国に『4キロトン規模実施』と事前通告」『毎日新聞』、平成18年10月11日、Mark Mazzetti, "Preliminary Samples Hint at North Korean Nuclear Test", *op.cit.*
- 7) Dafna Linzer and Walter Pincus, "U.S. Detects Signs of Radiation Consistent with Test", *Washington Post*, Oct. 14, 2006, "North Korea's Bomb: A technical assessment", Security Blog, [http://www.fas.org/blog/ssp/2006/10/north\\_koreas\\_bomb\\_A\\_technical\\_assessment](http://www.fas.org/blog/ssp/2006/10/north_koreas_bomb_A_technical_assessment), などによる。
- 8) 「北朝鮮関連の地震波形分析結果」、気象庁報道発表、平成18年10月19日

- 9) 「2006年10月9日に観測された北朝鮮を震源とする波形について」、九州大学地震火山観測研究センター報道発表、平成18年10月9日、<http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/seis0610091037.html>
- 10) "Nuclear Weapons Testing," Weapons of Mass Destruction (WMD), *op.cit.*
- 11) この部分は、以下からの情報をまとめた。“North Korea Conducts Nuclear Test”, *op.cit.* および「実験場所は咸鏡北道万塔山か、地震研究センター」前掲記事。
- 12) ブルース・ボルト（小林芳正監訳）『地下核実験探知』古今書院、昭和61年、59～65頁をまとめた。
- 13) 地震波について簡単に説明をしておこう。震源地の近傍を除けば、地震波は弾性的（一時的にゆがんでも元に戻る）に伝わり、実体波としてはP波とS波の二種類がある。P波は、伝播の速度が速く弾性体の圧縮と膨張からなっており、固体中も液体中も伝播可能で、縦振動（波面の進む方向に振動する）をする。これに対して、S波は伝播速度が遅く、横振動（波面の進む方向と直角に振動する）であり、完全流体中は「ずれ」変形が伝わらないので伝播しない。もし地下爆発実験の震源地でP波しか発生しないと仮定しても（周辺の岩石が対称ではないため、実際にはそうならない）、地表面や地中で他の地層とぶつかるとS波が発生するので、遠方ではS波も観測できる。地表面ではさらに二種類の地震波が発生する。表面波であるレイリー波とラブ波である。両者とも伝播速度は毎秒3km程度であるが、ラブ波の方がレイリー波よりも先に記録される。地表面に近いところで捕捉されることに特徴があり、地下核実験は通常地表数百メートル以内で行われるので、十分に捕捉できる。レイリー波は、波のイメージを浮かべてもらえばわかるように、上下動と進行方法への水平動で構成され、P波やS波よりも伝播速度は遅い。ラブ波は、地表付近で捕捉されたS波からなるが、上下動成分を持たない。また表面波の利点として、伝播に伴うエネルギーの減衰が少ない点がある。実体波は、伝播の距離に比例して振幅が小さくなる。これに対して、表面波の振幅は、距離の平方根に比例する。すなわち、震源地から距離が遠くなればなるほど表面波の方が捕捉しやすいことになる。
- ブルース・ボルト（小林芳正監訳）『地下核実験探知』、同上書、77～82頁をまとめた。
- 14) Jungmin Kang and Peter Hayes, "Technical Analysis of the DPRK Nuclear Test", Policy Forum Online 06-89A. Oct. 20, 2006, <http://www.nautilus.org/fora/security/0689HayesKang.html>
- 15) Robert S. Norris and Hans M. Kristensen, "NRDC: Nuclear Notebook, Nuclear Pursuits", *The Bulletin of the Atomic Scientists*, Sept./Oct. 2003, pp.71-72.
- 16) Richard L. Garwin and Frank N. von Hippel, "A Technical Analysis of North Korea's Oct. 9 Nuclear Test", November 2006, *Arms Control Today* (internet version), [http://www.armscontrol.org/act/2006\\_11/NKtestAnalysis.asp](http://www.armscontrol.org/act/2006_11/NKtestAnalysis.asp)
- 17) Harold Smith, "Nuclear Forensics and the North Korean Test," endnote 3, *ibid.*
- 18) Richard L. Garwin and Frank N. von Hippel, "A Technical Analysis of North Korea's Oct. 9 Nuclear Test", *op.cit.*
- 19) "Statement by the Office of the Director of National Intelligence on the North Korean Nuclear Test", *op.cit.*

- 20) 澤田哲生「北朝鮮の核実験の可能性とその影響について」東京工大原子炉工学研究所、  
[http://www.nr.titech.ac.jp/coe21/events/DPRK\\_ppt.pdf](http://www.nr.titech.ac.jp/coe21/events/DPRK_ppt.pdf)
- 21) この段落と次の段落は、特に引用の指摘がない限り、以下に依拠している。Richard L. Garwin and Frank N. von Hippel, "A Technical Analysis of North Korea's Oct. 9 Nuclear Test", *op.cit.*
- 22) Jungmin Kang and Peter Hayes, "Technical Analysis of the DPRK Nuclear Test", *op.cit.*  
Bq= ベクレル=放射能の強さを表す単位の一つで、1秒間に崩壊する原子核の数を指す。放射能の強さは、放射性核種の半減期と数で決まる。MBq=10<sup>6</sup>Bq。
- 23) Richard L. Garwin and Frank N. von Hippel, "A Technical Analysis of North Korea's Oct. 9 Nuclear Test", *op.cit.* に依拠している。
- 24) 「実験核はプルトニウム。北朝鮮側、米専門家に説明」『朝日新聞』、平成18年11月16日夕刊
- 25) 兵器級のプルトニウムは、通常Pu<sub>239</sub>を90%以上含む。Pu<sub>240</sub>は5～6%以下が望ましい。原子炉発電用では、Pu<sub>239</sub>が60～70%程度になっている。その分、Pu<sub>240</sub>の含有量が20%を上回ることがある。'Weapon-Related Properties of Specific Nuclear-explosive Nuclides and Mixtures', "A Tutorial on Nuclear Weapons and Nuclear-Explosive Materials: Nuclear Weapons Design & Materials", NTI, [http://www.nti.org/e\\_research/cnwm/overview/technica12.asp](http://www.nti.org/e_research/cnwm/overview/technica12.asp),
- 26) 原子炉の運転中にU<sub>238</sub>が中性子を吸収し、二度のβ崩壊を起こしてPu<sub>239</sub>になることで生産される。そのため、U<sub>238</sub>などの分裂性物質と入り混じった状態になり、化学的分離が必要とされるゆえんである。U<sub>235</sub>が核分裂を起こして派生した中性子は、核分裂連鎖反応を起こすばかりでなく、U<sub>238</sub>に吸収されPu<sub>239</sub>も生成する。中には、中性子を吸収して核分裂を起こすプルトニウムも生じる。その際発生した中性子は、先ほどと同様に、分裂連鎖反応を起こすものもあれば、吸収されてPu<sub>239</sub>を生成するものもある。  
山田克哉『核兵器のしくみ』講談社現代新書、2004年、129-131頁
- 27) U<sub>235</sub>の分裂で生じる分裂片は原子核であり、バリウム(セシウムがβ崩壊してできる)、キセノン、ストロンチウム90やセシウム137などで構成される。放射能を持ち、β線、γ線、中性子線をだすので、分裂片が蓄積されると放射能の強度が増す。分裂片も中性子を吸収する。特にキセノンはその確率が極めて高い。中性子が吸収されるので分裂連鎖反応にとってはマイナスとなり、原子炉で臨界を維持するのが難しくなる。そうなる前に、運転を中止し、新しい核燃料に替える必要がある。Pu<sub>239</sub>も蓄積されるが、軽水炉の場合は、U<sub>238</sub>からPu<sub>239</sub>への転換率は低いので、燃料交換時で1%程度でしかない。燃料棒にはまだ核分裂を起こしていないU<sub>235</sub>、Pu<sub>239</sub>や放射能の強い分裂片が含まれているが、使用済み核燃料(棒)と呼ばれている。  
山田克哉『核兵器のしくみ』同上書、173-174頁
- 28) 以下をまとめた。山田克哉『核兵器のしくみ』同上書、129-131頁、'Weapon-Related Properties of Specific Nuclear-explosive Nuclides and Mixtures', "A Tutorial on Nuclear Weapons and Nuclear-Explosive Materials: Nuclear Weapons Design & Materials", *op.cit.*
- 29) Robert Norris and Hans Kristensen, "North Korea's Nuclear Program", *The Bulletin of the Atomic Scientists*, May/June 2005, p.65. Puの最小臨界質量は6kg程度とするのが一般的

なので、ここでの技術水準は通常の想定範囲をはるかに超えている。ちなみに、国際原子力機関（IAEA）は8kgとしている。

- 30) Richard L. Garwin and Frank N. von Hippel, "A Technical Analysis of North Korea's Oct. 9 Nuclear Test", *op.cit.*
- 31) 'How Big Is a Nuclear Bomb? How Could It Be Delivered, endnote 24', "A Tutorial on Nuclear Weapons and Nuclear-Explosive Materials: Nuclear Weapons Design & Materials", *op.cit.* (名称を若干修正した。)
- 32) Jungmin Kang and Peter Hayes, "Technical Analysis of the DPKR Nuclear Test", *op.cit.*
- 33) Richard L. Garwin and Frank N. von Hippel, "A Technical Analysis of North Korea's Oct. 9 Nuclear Test", *op.cit.*
- 34) 'Types of Nuclear Bombs, and the Difficulty of Making Them', "A Tutorial on Nuclear Weapons and Nuclear-Explosive Materials: Nuclear Weapons Design & Materials", *op.cit.*
- 35) 山田克哉『核兵器のしくみ』前掲書、173-174頁
- 36) 'Types of Nuclear Bombs, and the Difficulty of Making Them', "A Tutorial on Nuclear Weapons and Nuclear-Explosive Materials: Nuclear Weapons Design & Materials", *op.cit.*
- 37) ある北朝鮮の外交官が、「予想より小規模であったが、大きな成功を可能にする小さな成功である」と述べている。Dafna Linzer and Walter Pincus, "U.S. Detects Signs of Radiation Consistent with Test", *op.cit.*
- 38) Jungmin Kang and Peter Hayes, "Technical Analysis of the DPKR Nuclear Test", *op.cit.*
- 39) たとえば、「Nuclear Weapons Program」, Weapons of Mass Destruction (WMD), *op.cit.*
- 40) 矢野義昭「北朝鮮の核及びミサイル兵器の開発問題」、平成18年11月15日、限定配布。  
北京発10月6日付けロイター発Yahooニュース、海外総合ニュース同日18時42分配信を根拠としている由（私信）。
- 41) Jungmin Kang and Peter Hayes, "Technical Analysis of the DPKR Nuclear Test", *op.cit.*

# Is North Korea's Test a Dud? The Technical and Engineering Difficulties of an Implosion Test

TAKEUCHI Toshitaka\*

North Korea conducted her first nuclear explosion test on Oct.9, 2006. It is believed to have been an implosion type using plutonium (Pu). She is reported to have notified China only 20 minutes prior to the test and have mentioned that the intended yield would be about 4kt. According to seismic analyses of the blast, however, the consensus is that the actual yield would have been less than 1kt. Thus, some people have concluded that it was a dud.

This paper makes an effort to explain technical and engineering difficulties associated with an implosion type test, let alone the first explosion test. For example, a mistiming of being either too early or too late of only ten millionth of a second can cause a fizzle or pre-detonation without any sustained chain-reaction taking place. Therefore, the mere fact that she had at least succeeded in attaining super criticality indicates that her technical and engineering level may not be low. This paper would like to call attention on this fact and warn that one should not jump to the dud conclusion. The test would be at least a partial success in the sense that it did explode.

---

\* Division of International Relations, Osaka University of Foreign Studies