

包括的核実験禁止条約 (CTBT) と検証制度について (2)

— 米ソ地下核実験制限条約 (TTBT) の発効に向けて —

軍縮・不拡散促進センター

客員研究員 小山謹二

1. はじめに

地球上に核兵器はいらない。CTBT の発効を待ち望んでいるのは日本だけではない。地球上の多くの国と人々は核兵器のない平和で安全な世界がくることを待ち望んでいる。包括的核実験禁止条約 (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty : CTBT) は1996年9月、国連総会で採択され、1997年には包括的核実験禁止条約機関準備委員会をウィーンに設立し、暫定技術事務局を立ち上げ、発効に向けて準備を進めている。2006年9月11日現在、CTBT に署名している国は176カ国にのぼり、135カ国が批准している (国連加盟国は191カ国)。しかし、発効要件国である44カ国の内の10カ国が批准していないために発効が何時になるのか分からない。日本はCTBT を国際原子力機関 (IAEA) の保障措置と並び、核兵器不拡散条約 (NPT) を礎とする核不拡散・軍縮体制の不可欠の柱として捉え、その早期発効を核軍縮・不拡散分野の最優先課題として推し進めている。

本連載の第1回は、各国が望んでいたにもかかわらず、CTBTの策定には至らず、地下核爆発実験の禁止を除いた部分的核実験禁止条約 (Partial Test Ban Treaty : PTBT) ¹が1963年に発効する迄の経緯を検証体制の整備にかかる観点から紹介した。PTBTは大気圏内、宇宙空間及び水中における核兵器の実験を禁止し、核爆発実験による放射性降下物 (フォールアウト) で起きる環境汚染の拡大を食い止めることを主目的とした条約である。PTBT は条約に違反する核爆発実験を検知する国際的な検証体制を構築する必要がなく、条約の遵守を検証する現地査察 (On-site Inspection: OSI) を行う必要のない範囲 (OSIの名目でスパイ行為が行われることをソ連は危惧した) に止めた条約である²。しかしながら、その前文には「核兵器のすべての実験的爆発の永久的停止の達成を求め、その交渉を継続することを決意し、また、放射性物質による人類の環境の汚染を終止させることを希望して、次のとおり協定した。」とCTBTの発効を願いつつ、CTBTの締結に至る道筋の1つとしてPTBTを策定したと明記している。当然のことながらPTBT発効後、フォールアウトは急激に減少したが、米ソの地下核爆発実験は続けられ、核兵器の開発競争は続けられた。その理由の一つは1957年ソ連が打ち上げた人工衛星スプートニク1号及び2号である³。スプ

¹ PTBTは大気圏内、宇宙空間および水中における核爆発実験を禁止している。

² 核爆発実験による放射性降下物が国境を越え飛来する様な状況が起きた場合、周辺諸国は飛来してきた放射性降下物 (フォールアウト) を測定監視することにより、条約違反の核爆発実験が行われた事実をつかむことが出来る。

³ 1957年10月4日打ち上げられたスプートニク1号衛星の重量は83.6kgであった。1月後の11月3日に打ち上げられたスプートニク2号 (508kg) には犬が乗せられていた。

ートニク2号は核弾頭を装填した大陸間弾道弾ミサイル (Intercontinental ballistic missile : ICBM) の配備を予見させるものであり、優位に立っていた米国の核兵器開発競争に暗雲を漂わせる事件であった。この事態に対処するため、米国はICBMの改良・開発とともに核弾頭の小型軽量化と破壊力の増大、そして信頼性と安全性の向上を急いだ。当時の代表的なICBM (米国のAtlas-D、ソ連のSS-7) の半数必中半径 (CEP)⁴ は3,000m程度であった⁵。3,000m CEPのICBMで頑強に防護されているミサイル・サイロを破壊するには、核弾頭の破壊力を数千kt⁶にまで巨大化して第1撃の効果と信頼性を高める必要があった。このような状況の下に米ソ両国は、核爆発実験に伴い発生する放射性物質の放出を抑えるための封じ込め実験を開始し、核弾頭の小型軽量化と爆発規模の巨大化を進め、信頼性と安全性を高める核爆発実験を地下に移すと共に平和利用目的の核爆発実験を続けた。地下核爆発実験は200kt規模を超える爆発実験が多くなり、米国は1969年に1Mt (1000kt)、71年には5Mtの地下核爆発実験を行っており、ソ連は1966年に1.5Mt規模、1973年には10Mt規模の爆発実験を行った⁷。

2. 放射性物質の封じ込めについて

米ソは地下核爆発実験で生じる放射性物質を封じ込め、大気中への放出を抑えるために実験坑 (トンネルあるいは縦坑) を掘り、核爆発装置を設置し、実験坑を封じ込めるための封鎖機構について試験を重ね、封じ込めに必要な深さについて指標を定めている。米国のネバタ実験場⁸では、

$$\text{Depth} = \text{Max}(133 \cdot Y^{1/3}, 200) \quad (1)$$

ここでMax(A, B)はAとBで大きい方を選ぶことを意味し、“Depth”はm、“Y”はktの単位とする。ソ連のセミパラチンスク実験場⁹では、

$$\text{Depth} = 110 \cdot Y^{1/3.4} \quad (2)$$

で与えられる深さ (Depth) より深い場所で爆発させた場合、多量の放射性物質の放出は起きないとしている。

米国のエネルギー省は一連の地下核爆発実験で大気中に拡散した放射性物質の測定結果

⁴ CEP (Circular Error Probability) は標的を中心に半径CEPの円の中に半数のミサイルが着弾する命中精度を表している。なお、“半数必中界”あるいは“半数命中半径”とも言う。

⁵ 現在米国が配備しているICBMのCEPは90~120mであり、300ktから500ktの核弾頭を搭載している。

Ballistic Missiles of the World (website) <http://www.missilethreat.com/missiles/>

⁶ 1 ktとはTNT火薬1,000,000kgが爆発したのと同等の爆発規模 (威力) を示す。

⁷ Catalog of Worldwide Nuclear Testing, by V. N. Mikhailov,

(website) <http://www.iss.niit.ru/ksenia/catalog/intr.htm>

⁸ The Containment of Underground Nuclear Explosions, October 1989, Chapter 3, P-36

(website) <http://www.clw.org/archive/coalition/contain.pdf>

⁹ The Containment of Soviet Underground Nuclear Explosions, Chapter 2, P-26

(website) <http://geology.er.usgs.gov/eespteam/pdf/USGSOFR01312.pdf>

をまとめている¹⁰。

PTBT批准後に行われた平和利用目的の核爆発実験を含む 723 回の地下核爆発実験の中で、封じ込めに成功したケースは 322 件であり、実験計画に基づく放射性物質の放出が計画放出量の範囲内でありかつその放出が制御（フィルター等を通し放出）されたケースは 287 件、封じ込めに失敗したケース（計画放出量を超えたケース）は 105 件、そして核爆発直後の放出ではなく、遅れて放射性物質（希ガス）が地表に浸み出したケース、あるいは後日出来たクレーターから放射性物質の拡散が起きたケースが 9 件あった¹¹。そして、各地下核爆発実験の詳細報告には放射性物質の放出が制御（controlled）されたものか制御できなかった（uncontrolled）かを区別している。そして、放出の起きた工程には爆心地点から試料を採取するための掘削工程、そしてトンネル内の換気工程（強制排気）における放出を含んでいる。ネバタ実験場で行われた 723 回の地下核爆発実験の内、制御されない不測の放出が起きたとしている地下爆発実験は 12 件あり、表-1 にまとめてある。なお、報告書では、放射性物質が多量に放出された場合でも、実験計画に基づく放出であれば、不測の放出が起きたともとは捉えていない。

何れにしても、米ソの核爆発実験によるフォールアウトが近隣諸国を放射性核物質で汚染させないこと、すなわち核爆発実験で生じる放射性物質を地下に閉じ込めることを規定した PTBT の第 1 の目的は達成され、核実験場に立ち入って試料を採取し、放射性物質を分析しない限り、確実に核爆発実験を行ったか否かの判定は困難になった。

3. 米ソ地下核実験制限条約（TTBT : The Threshold Test Ban Treaty、1990 年発効）

TTBT¹²はPTBTでは禁止することが出来なかった地下核爆発実験の中で 150ktを超える核兵器の核爆発実験を禁止する米ソ間の 2 国間条約であり、両国は 1974 年 7 月に署名したが、発効したのは 1990 年 11 月である。この間は条約第 4 条「この条約は、各締約国の憲法上の手続きに従って批准されなければならない」に基づく批准手続きに要した期間といえるが、実態は条約の遵守を保証する現地査察を含む検証手段の合意に至るまでの期間でもあった。

PTBTの発効からTTBTの発効に至る 27 年間に核軍縮・不拡散にかかる世界情勢は大きく変わり、1970 年にはNPTが発効した。1972 年にはABM条約¹³の発効と第 1 次戦略兵器削減交渉（SALT-I）¹⁴の締結、1974 年にはインドが地下核爆発実験を行い、1977 年には

¹⁰ DOE/NV-317 (Rev. 1) UC- 702、Radiological Effluents Released From U.S. Continental Tests 1961 through 1992、August 1996、United States Department of Energy Nevada Operations Office

¹¹ 脚注 10、8 ページ

¹² TTBT の条約および議定書の全文は以下のサイトを参照されたい。
(website) <http://www.state.gov/www/global/arms/treaties/ttbt1.html>

¹³ Anti-Baltic Missile Treaty : 対弾道ミサイルシステムの制限に関するアメリカ合衆国とソビエト社会主義共和国連邦との間の条約。

¹⁴ 岩田修一郎、「核戦略と核軍備管理」(財) 日本国際問題研究所、1996 年、62~70 ページ

第2次戦略兵器削減交渉 (SALT-II)¹⁵の締結、1988年にはINF全廃条約¹⁶が効力を発生した。そして、ベルリンの壁が崩壊し、東西の冷戦が終結したのは1989年11月のことである。

表-1 予期しない放射性物質の放出を起した米国の地下核爆発実験

| 1963年から1992年 | | | | |
|-------------------------------|------|------------------------|-------|--------------|
| 実験名 | 年 | 放出量 ^(a) | 深度 | 爆発規模 |
| 1. Tiny Tot | 1965 | 7Ci | -121m | <20kt |
| 2. Red Hot | 1966 | 1000kCi ^(b) | -440m | <20kt |
| 3. Pile Driver | 1966 | 370kCi | -506m | 62kt |
| 4. Double Play ^(c) | 1966 | 40kCi | -350m | <20kt |
| 5. Door Mist ^(c) | 1970 | 690kCi | -488m | <20kt |
| 6. Hudson Moon | 1970 | 790Ci | -462m | <20kt |
| 7. Riola | 1980 | 960Ci | -464m | 1.07kt |
| 8. Kappeli | 1984 | 12Ci | -700m | 20kt - 150kt |
| 9. Tierra ^(d) | 1984 | 600Ci | -700m | 20kt - 150kt |
| 10. Labquark ^(d) | 1986 | 16Ci | -673m | 20kt - 150kt |
| 11. Bodie ^(d) | 1986 | 1.2Ci | -694m | 20kt - 150kt |
| 12. Barnwell ^(d) | 1989 | 47Ci | -657m | 20kt - 150kt |
| 13. 1kt (大気中) ^(e) | | 10,000kCi | | 1kt |

- 注 (a) 放出量は放出12時間後の放射能の強度Ci (Curi) に規格化されている。
 (b) kCiは1000Ciを意味する、Ciは毎秒 3.7×10^{10} 個の原子核が崩壊する状態を表す単位。
 (c) 制御された放出に制御されていない放出を加えた総量。
 (d) 核爆発実験後時間をおいて地表面に放射性核種 (希ガス) が浸み出した。
 (e) 1ktの核爆発で生成する放射性核物質の放射能であり放射化物質の放射能は含まない。

出典: DOE/NV-317 (Rev. 1) UC- 702, Radiological Effluents Released From U.S. Continental Tests 1961 through 1992, August 1996, United States Department of Energy Nevada Operations Office

PTBT発効後もCTBTの成立を望む動向は衰えを見せず、PTBTで規制出来なかった地下核爆発実験の禁止に向けて検証技術に関する研究が進められ、遠隔地震観測施設が捉えた地震波による震源の決定方法、自然地震と爆発により誘起された人工地震の識別に関する研究が進められた。これらの研究を支えたのは1961年に米国が設立した世界規模の標準地震波観測網 (WWSSN: World-Wide Standard Seismograph Network) である。この時期、地震計も従来用いられてきた機械式地震計から電磁式の地震計に変わり、地震波の観測記

¹⁵ 同上、70~72 ページ

¹⁶ INF Treaty: 中距離及び準中距離ミサイルの廃棄に関するアメリカ合衆国とソビエト社会主義共和国連邦との間の条約。

録もペン・レコーダーによる記録から、アナログ電気信号として磁気媒体への記録が可能になり、計算処理機能は強化された。さらには地震計をアレー型に配置した遠隔地地震観測施設が配備され、地震波の信号と雑音の比 (S/N比) を改善して微小地震波の読み取り可能にしたのみならず、地震波の到達方向までも識別可能にした¹⁷。これらの遠隔地地震波観測技術の進歩が地下核爆発実験によって誘起される地震波の検知と識別に関する研究を進展させ、爆発によって誘起された地震は、爆発地点の地質構造、及び遠隔地地震観測施設の設置場所に依存することが判明した時期でもある¹⁸。

TTBTは、他国の領土を核爆発実験で生じた放射性物質による汚染 (フォールアウトによる汚染) を起こさない地下核爆発実験を除き、全ての核兵器の爆発実験を禁止したPTBTに更なる規制をかける条約であり、核爆発規模が 150ktを超える核兵器の開発・試験を目的とした地下核爆発実験を禁止している。しかし平和利用目的の地下核爆発については規制の対象としていない¹⁹。

TTBTの定めた閾値 150ktは、米ソ両国が際限のない核弾頭の爆発規模の巨大化競争に休止符を打とうとする、政治的な動きの中で決定した値としか思えない。1961年10月30日、ソ連は 50Mtの水爆実験に成功している。水爆の威力の上限を定める物理学的パラメーターはなく、100MT、500Mさらに巨大な規模の水爆の設計も可能である²⁰。米ソ両国は、核弾頭の爆発規模を有効かつ効率的な規模に制限し、小型・軽量化に進むとの政治的な合意に達し、無意味な巨大化競争を避けるために、TTBTの策定に踏み切ったと見ることができる。

検証手続きを定める議定書の合意が発効の条件となっているTTBT²¹は、条約の遵守を検証するために解決しなければならない基本的な問題が残っていた。その第1は条約第3条「平和目的地下核爆発には適用されない」の規定であり、平和目的と称して行われる 150ktを超える地下核爆発が核兵器の開発・改良を目的とした実験ではないことを検証する手段

¹⁷ Ola Dahlman and Hans Israelson, “Monitoring Underground Nuclear Explosions” Elsevier Scientific Publication Company, 1977、第6章に当時の地震観測所が備えていた、備えようとしていた地震計とその特性が紹介されている。124ページにはWWSSNを構成する112の地震観測所の配置が示されている。

¹⁸ Bruce A. Bolt、小林芳正監訳、「地下核実験探知」古今書院、昭和61年5月発行、第6章及び第7章に1960年代、1970年代の地震の観測、震源の推定そして地下爆発事象の識別技術の進歩の様子が紹介されている。

¹⁹ 1970年に発効した核兵器不拡散条約 (NPT) 第5条では核爆発の平和利用を認めている。

²⁰ Nuclear Weapons Frequently Asked Questions、2.2.2 Basic Principles of Fusion Weapon Design: Teller—Ulmaの設計に基づく最初の水爆は“two stage bomb”と言われ、第1段階の爆発を原爆でおこし、2段階目の核融合反応による爆発で1段階目の爆発力を増す (10~100倍) 設計である。この設計によると、3段階目4段階目、・・・の爆発を誘発させて最終的に必要に応じた爆発力を得ることが出来る。1961年10月、ソ連が実験した 50Mt水爆は3段階の爆発により達成している (3 staged bomb)。(website) <http://nuclearweaponarchive.org/Nwfaq/Nfaq0.html>

²¹ TTBT第4条は「各締約国の憲法上の手続きに従って批准しなければならない」と規定している。この規定を米ソは条約の遵守にかかる検証手続きを定める議定書の合意と読んでいる。

が組み込まれておらず、「平和目的の地下核爆発は、出来るだけ早い時期に締約国により交渉され締結されるべき協定によって規律される」と規定し、米ソ平和目的核爆発条約 (PNET: TTBTと同時に発効したPNETについては後ほど紹介する) の締結に問題の解決を持ち越している²² ことである。

第2の問題は条約の規定している閾値 150ktの判定方法である。当時、地下爆発で誘起される地震の規模 (マグニチュード: M) から推定される核爆発の規模 (kt) は十分信頼できると考えられていた。しかし署名後、本格的に監視・観測を始めた米国の複数の遠隔地地震観測施設で観測した核爆発実験の爆発規模の分布する範囲 (信頼水準を 95%とした範囲) は、申告された爆発規模の 1/2 から 2 倍に及ぶことが明らかになった。すなわち申告値が 150ktの場合、米国内の遠隔地地震観測施設で実測された爆発規模は 95%の確率で 75kt~300ktの範囲内にあるが、2.5%は 300ktを超える可能性がある²³。

実際、米国が推定した爆発規模にはソ連の申告値 (150kt) を大幅に超える核爆発実験が頻繁に現れた。そこで、カーター政権は私的な警告としながら、ソ連政府に当該核爆発実験は条約に違反していると通告していた。当然のことながらソ連政府は米国の警告を無視していた²⁴。

米ソ両国はこの測定誤差の生じる要因を究明することになる。その過程で、米ソ両国は TTBTの遵守に最大限の努力はするが、爆発規模 (kt) の測定には技術的な不確かさがあり、閾値 150ktを超えないとする条件の達成は困難であると見ていた。そこで、両国の間には「年に 1 あるいは 2 回程度は起きるかもしれない、意図しない爆発実験²⁵は条約の不履行には当たらず条約違反とは見做さない。しかし、原因究明の対象として協議すべき事項である」との合意があった²⁶。

4. 議定書と米ソ共同検証実験²⁷

TTBTは前文と 5 条の条文から構成されており、1974 年 7 月開催された米ソのモスクワ・サミットで合意された基本事項のみが規定されており、条約の遵守を検証する手法と手段

²² 1976 年 7 月、米国政府は TTBT の批准は PNET の批准と同時に行うとの助言と同意を得る文書を上院に提出している。Threshold Test Ban Treaty (1974), atomicarchive.com (website) <http://www.atomicarchive.com/Treaties/Treaty10.shtml>

²³ Gregory E. van der Vink, et al, “The politics of Verification: Limiting the Testing of Nuclear Weapons”, Paragraph: Uncertainty in Seismic Yield Estimation, (website) http://www.princeton.edu/~globsec/publications/pdf/3_3-4vanDerVink.pdf

²⁴ 同上、Paragraph: US Government’s Reaction to Uncertainty,

²⁵ 爆発実験の結果が閾値 150kt を誤差の範囲内で超え、厳密には条約不履行となる爆発実験。

²⁶ Threshold Test Ban Treaty (1974)

(website) <http://www.atomicarchive.com/Treaties/Treaty10.shtml>

²⁷ Agreement Between the United States of America and the Union of Soviet Socialist Republics on the Conduct of a Joint Verification Experiment May 31, 1988, (website) http://www.nuclearfiles.org/menu/library/treaties/usa-ussr/trty_us-ussr_agreement-joint-experiment_1988-05-31.htm#

は全て議定書で規定されている²⁸。議定書の規定する検証手法と手段の特徴は、先ず、米ソは核実験場を限定し²⁹ (第2節)、検証手段を定め (第3節)、35kt以上の核爆発実験計画を事前に通告し (第4節)、相互に立ち入り査察を行うことを前提としている。そして、第5節では核爆発の規模を流体力学的手法 (Hydrodynamic Yield Measurement Method)³⁰ による爆発規模の直接測定、第6節には地震学的手法により核爆発の規模を測定 (Seismic Yield Measurement Method)、第7節には現地査察 (OSI : On-site Inspection) にかかる事項を規定し、そして第8節では使用可能な測定機器を定めている。

議定書は条約の遵守を検証する手法と手続きの規定と言うよりは、両国の懸案事項であった核爆発規模の測定手法と手段を規定したものであり、信頼関係を改善するための共同実験の詳細を規定している、前例のない形態の議定書である。すなわち、条約の遵守にかかる閾値 150kt と対比する爆発規模を現地で測定するとともに遠隔地地震観測施設の観測結果から爆発規模を推定する手法を確立し、事前に通告された核爆発実験の規模が遠隔地地震観測施設で測定した核爆発規模と測定誤差範囲内で一致している、と判断するに十分な根拠を共有するための手続きを規定している。

1987年に入って米ソは地震学的手法による爆発規模決定にかかる誤差要因を解明するために、そして延び延びになっていた議定書策定の協議に入るために、爆発規模の測定手法を確立するための共同実験を行うこととし、1988年3月には共同検証実験に関する条約 (JVE : The Agreement to Conduct a Joint Verification Experiment)³¹ に批准した。JVEは核爆発の規模を現地で直接測定する流体力学的手法、および地震学的手法による測定結果の規格化に必要なデータを収集 (遠隔地地震観測施設までの伝播経路を伝わる実体波 (p-波) の減衰係数等) し、さらに測定結果の信頼性を保証する条件を定めるための実験である。

1988年6月17日にはネバタ核実験場で、3ヵ月後の9月14日には セミパラチンスクで共同検証実験を行った。両国はこれらの共同実験の有効性と信頼性を認め、その手法と手続きを議定書に反映させ、検証システムを構築した³²。

²⁸ 条約本文は簡潔に 733 語にまとめられているが、議定書は 13 のセクションにより構成されており 36,500 語を超える長文である。

²⁹ 米国はネバタ核実験場 (Nevada Test Site)、ソ連はセミパラチンスクおよびノバヤゼムリア核実験場 (Semiparatinsk and Novaya Zemlya Test Sites) を指定している (議定書第2節)。

³⁰ 流体力学的手法は CORTEX Measurements Method とも言う。

³¹ JVE : Agreement Between the United States of America and the Union of Soviet Socialist Republics on the Conduct of a Joint Verification Experiment May 31, 1988, (website) http://www.nuclearfiles.org/menu/library/treaties/usa-ussr/trty_us-ussr_agreement-joint-experiment_1988-05-31.htm#

³² JVE の最初の実験は 1988 年 8 月、米国のネバタで行われ、翌 9 月にはソ連のセミパラチンスクで行われた。Section 3.4.3 of “Problems of On-Site Access and Inspections in the Context of Nuclear Weapons Reductions and Nuclear Security Cooperation”, (website) <http://npc.sarov.ru/english/projects/reportaccess.html>

5. 検証活動は申告の確認

TTBT の検証は核爆発実験を行う国（試験国：Testing Party）が条約の遵守を検証する国（検証国：Verifying Party）に通知する実験計画に基づき、検証国は現地で核実験に立会い、流体力学的手法により核爆発の規模（kt）を測定し、測定された爆発規模により地震学的手法による爆発規模の推定式を較正する。そして現地査察は核爆発実験の立会いのみならず、申告された実験条件の詳細に誤りが無いことを確認する形態で実施する。

検証にかかる活動は、試験国が予定している 35kt を超える地下核爆発実験の年次計画を検証国に通知することから始まる。試験国は、少なくとも実験予定日の 200 日前に、計画の詳細を検証国に申告する。申告すべき項目は多岐にわたるが代表的な事項を列記すると、

- ① 実験場と実験予定日；
- ② 核爆発装置を装填したキャニスター³³を実験孔に設置する予定日；
- ③ 実験場所の緯度・経度（四捨五入により分単位でまるめた緯度・経度）；
- ④ 爆発地点の深さ（四捨五入により 10m 単位でまるめた深さ）；
- ⑤ 計画している核爆発の規模（35kt 以上、あるいは 50kt 以上）；
- ⑥ 実験場の地質、地層と地下水脈の深さ

等々である。この申告を受けて、検証国は 20 日以内に予定している検証項目（流体力学的手法、地震学的手法、そして現地査察）を試験国に通知する。

検証項目の通知を受けた試験国は、少なくとも実験予定日の 120 日前におおむね以下の情報を検証国に通知しなければならない。

- ⑦ 実験場の地質学的、地球物理学的特性、（地層構造、各地層を構成する岩盤の特性（密度、孔隙率、音速、含水率等）、断層の位置、等）；
- ⑧ 流体力学的手法を適用するために準備する検出器・測定機器等の設置場所（実験孔の場所を含む）；
- ⑨ 流体力学的手法の測定区域内にある 1.0m³以上の空洞の位置と形状；
- ⑩ 流体力学的手法の測定区域内にある実験孔を塞ぐために用いる材質とその密度；
- ⑪ キャニスターを設置する実験孔から半径 300m 以内に設けた実験孔の大きさと配置；
- ⑫ キャニスターを設置する実験孔から半径 300m 以内にある 1000m³以上の空洞の位置と形状；
- ⑬ 実験孔等の位置が書き込まれた 1/25,000 よりも大きい縮尺の地勢図；

など、実験条件の設定に直接かかわる情報が網羅されている。

さらに、第 4 節には検証査察に参加する査察官等の氏名の通知、各検証試験項目の完了

³³ キャニスターは試験する核弾頭等を装填した密閉容器であり、その中には起爆制御機構のみならず爆発によって生じた衝撃波の発生時刻等、爆発にかかる測定機構も組み込まれている。

が計画より遅れた場合の対応と通知、等々が事細かに決められている。

6. 爆発規模の測定と確認

地下核爆発の規模を地震のMから決定する地震学的手法（遠隔地地震観測施設で観測したMにより核爆発の規模を決定する手法）には誤差が大きく、条約の遵守を判定する手段とするには適切な較正手段が必要であることはすでに指摘した。JVEで試験された流体力学的手法は核爆発実験の一環として現地で行われるものであり、爆発にともない発生し、音速を超えて外側に広がっていく強い衝撃波が引き起こす媒体（岩石、堆積層等）の液化現象（高温、高圧下では岩石も液化する）が顕著な領域内で適用可能な手法である。そして、強い衝撃波が媒体中を拡がっていく伝播速度を測定することにより爆発の規模を求める手法であり、核爆発規模の測定手段として広く用いられていた³⁴。150ktの爆発実験を行う場合、流体力学的手法は核爆発の中心点から半径10m程度の球面に接する垂直な試験孔を掘り、終端処理をした同軸ケーブルを衝撃波の到達場所と時刻を測定するセンサーとして設置する。同軸ケーブルは最初に衝撃波が到達する球面に接した場所が押し潰され短絡（ショート）する。そして、短絡点は衝撃波が広がるにつれて順次上方に移動する。この短絡位置と時刻を計測し、衝撃波が爆心地点から到達した距離（R : m）を爆発してからの経過時間（t : ms）の関数として表せば、爆発の規模（Y : kt）は

$$R(t) = \alpha \cdot Y^{1/3} (t/Y^{1/3})^\beta \quad (3)$$

ここで $\alpha = 6.29$ 、 $\beta = 0.475$ （花崗岩）

で与えられる。但し α および β は花崗岩地帯での実験に適用された定数であるが、実験孔と試験孔の大きさと配置、実験場の地質学的、地球物理学的特性等によっても変わる³⁵。この原理に基づく測定方法がCORRTEXと言われJVEで試験され、TTBTで採用された爆発規模の測定手法³⁶である。セミパラチンスクで行なわれたJVEで米ソ両国がCORRTEXにより測定した爆発規模は、各々115kt及び122ktであり、平均値119ktは十分信頼性できる値であり、地震学的手法により決定する爆発規模の基準値とされた³⁷。

地震学的手法により核爆発の規模を決定するには、地震の規模（M : マグニチュード）と爆発規模の関係が分かればよい。爆発現場で測定しなければならない CORRTEX 法と異なり、M は遠隔地地震観測施設で観測した実体波（p-波）の振幅から決定可能であり、お

³⁴ 1945年に行われた最初の核爆発実験 Trinity の爆発規模21ktの決定にも用いられた手法である。

³⁵ “Seismic Verification of Nuclear Testing Treaties”, Appendix “Hydrodynamic Methods of Yield Estimation”の脚注10、(website) <http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/Courses/EASA130/ota.cune.pdf>

³⁶ CORRTEXのTTBT発効にかかわる寄与とその適用条件等は“CORRTEX and Limits on Nuclear Testing” (website) http://www.acdis.uiuc.edu/Research/S&Ps/1990-May/S&P_IV-4/cortex.html および脚注24のParagraph of “CORRTEX MONITORING”、を参照のこと。

³⁷ Lynn R. Sykes, et al., “Comparison of seismic and hydrodynamic yield determinations for the Soviet joint verification experiment of 1988”, Paragraph: On-Site Determination of Yield (website) <http://www.pnas.org/cgi/reprint/86/10/3456.pdf>

互いに自国の地震波観測網により相手国の申告した核爆発実験の規模を測定することが出来る。爆発規模 Y (kt) と M の関係は以下の式で与えられる。

$$M = A + B \cdot \log Y \quad (4)$$

ここで A および B は実験場の地質学的、地球物理学的特性、実験場と遠隔地地震観測施設の距離と地震波の伝播経路、そして地震計の特性によって定まる定数である。見方を変えれば、爆発規模は核爆発で生じる熱エネルギーに等価なエネルギーを発生する TNT の量 (重さ kt) で測った量と規定しており、このエネルギーの一部が地震エネルギーとなり地震の規模 M を決定する。そして規模 M の地震で誘起された地震波は地中を伝播し、遠隔地地震観測施設で p -波の振幅として観測される。そして、観測された p -波の振幅について地震計の特性と地震波の減衰を補正し M を決定する。

このように何段階もの補正を重ね、初めて規模 Y の爆発によって誘起された地震の規模 M が決定される。JVE では CORTEX と同時に地震学的手法による爆発規模の測定が行なわれた。この測定では遠隔地地震観測施設での p -波測定ばかりでなく、試験国内に検証国が地震観測点を置き、実験場の近傍で地震波を観測し遠隔地地震観測施設との間の減衰特性を測定し、式(4)の定数 A 及び B を定めている。この定数 A および B は爆発地点と遠隔地地震観測施設によって変わり、米国のネバタとソ連のセミパラチンスクで行われた JVE の結果から導かれた係数 A および B は大きく異なっている。

表—2 爆発規模からマグニチュードを求める式 (4) の係数 A と B

| | A | B |
|-------------|------|------|
| ネバタ実験場 | 3.92 | 0.81 |
| セミパラチンスク実験場 | 4.45 | 0.75 |

注) 定数 A 及び B は “Convert Magnitude to Yield” から転載した
<http://www.earthscope.org/CTBTedExercise/MagToYield.html>

この定数の違いは爆発規模の推定に大きく影響する。

一例を挙げれば、セミパラチンスク実験場とネバタ実験場で共に 150ktの核爆発実験をした場合、両実験場から離れた遠隔地地震観測施設で観測した p -波の振幅から決定されるマグニチュード M は、セミパラチンスクの場合は 6.1 になり、ネバタ実験場の場合は 5.7 となる。そして、同じ遠隔地地震観測施設で $M=6.0$ の地震を観測した場合、ネバタ実験場で行なわれた核爆発実験であればその爆発規模は 370ktとなり、セミパラチンスク実験場で行なわれたものであれば 117ktになる。JVEの結果が得られるまで、米国は地震波の減衰が伝播経路によってこのように大きく変わるとは考えていなかった。ネバタ実験場で行った核爆発実験の誘起する地震波 (P -波) の減衰はセミパラチンスク、アラスカ等、他の実験場での爆発実験にくらべ大きいことが明らかになり、 P -波の減衰の大きい高温領域がネ

バタ実験場を含む北米大陸西部地域のマントル上部にあることが明らかになった³⁸。この現象が、ソ連の核爆発実験が 150kt を大幅に超えていると米国側に誤った判断をさせた原因であり、TTBT 批准の条件である議定書の合意が延び延びになった原因であると考えられる。

7. 現地査察

現地査察は検証国が試験国の申告した実験条件①から⑫が正しいことを検証するために試験場に立ち入り、キャニスターを設置する実験孔の形状と周辺の地層サンプルの採取、キャニスターの設置場所の確認から CORTEX 用試験孔の配置等々、爆発規模の測定に係る詳細な情報を調査し確認する。また、実験時に検証国は実験国立会いの下で CORTEX 手法に基づく測定、および近傍に設置された地震計による地震波の観測を行なう。検証国はこれらの測定あるいは観測に用いる機器を持ち込み、設置する権利を持っている。現地査察は JVE で立証された共同実験を現地査察として行い、申告された実験条件を確認し、爆発によって誘起される衝撃波および地震波を測定し、爆発規模の決定に必要な補正因子の計算に用いる情報を収集し、さらに査察結果を互いに交換して疑義を解消する手続きと規定を定めているものであり、JVE の延長と見ることができる。

8. 米ソ平和目的地下核爆発条約 (PNET: The Peaceful Purposes Nuclear Explosions Treaty)

PNET³⁹はTTBTの署名から約2年遅れて、1976年5月に署名され、1990年12月TTBTと同時に効力を発生した。PNETは「単一の核爆発規模が150ktを超える平和目的地下核爆発」を禁止し、TTBT第3条「平和目的のための地下核爆発は、できる限り早い時期に締約国により交渉され締結されるべき協定によって規律される」を履行するものであり、平和目的地下核爆発と称して行われる大規模核兵器開発の道を閉ざす条約である。

PNETで禁止している核爆発とは平和目的のための150ktを超えるあらゆる単一の核爆発またはグループ地下核爆発であり、グループ中の各単一爆発の規模が測定できない場合は総計が150ktを超える核爆発、そして各単一爆発の規模が決定できる場合はその総計が1500ktを超える核爆発である(第3条)。第5条は「条約の規定の目的および履行を促進するため、締約国は合同協議委員会を設置し」、「義務の遵守についての信頼を確実なものとするため、互いに協議し、照会しおよびその照会に応じて情報を提供する」と規定している。第7条では核兵器不拡散条約(NPT)第5条「核爆発の平和的応用」への対応を規

³⁸ Seismic Verification of Nuclear Testing Treaties, U.S. Congress, Office of Technology Assessment, OTA-ISC-363, May 1988, pp. 117-120
(website) <http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/Courses/EASA130/ota.cune.pdf>

³⁹ PNETの条約および議定書の全文は以下のサイトを参照されたい。
(website) <http://www.state.gov/www/global/arms/treaties/pne1.html>

定している。すなわち、PNET 締約国は他の国が計画している核爆発の平和利用に関し、NPT 第4条を遵守し、かつ本議定書の定める規定と国際的な監視および手続きの履行に合意しない限り、その実施に参加または援助しないとしている。そして第9条はこの条約の不可分の一体をなす議定書を含め、各締約国の憲法上の手続きに従って批准しなければならぬと、TTBT の発効手続きに準じる手続きを定め、批准書の交換は TTBT のそれと同時に進行すると規定している。

9. PNET 議定書

核兵器開発を目的とした 150kt を超える地下核爆発実験を禁止する TTBT の議定書については、本稿の第4項から第7項にかけて紹介した。PNET の遵守を検証する手法と手続きを規定している議定書は TTBT のそれとほぼ同じであり、JVE に基づく検証手法を全面的に取り入れている。すなわち、検証活動は平和目的の核爆発を計画している実施国（実施国）の通告により開始され、実施場所と予定日、爆発の規模と爆心地点の深さ等々、実施にかかる詳細な申告を受けて、条約の遵守を検証する国（検証国）は流体力学的手法そして地震学的手法を適用する権利を持ち、現地査察により核爆発に立会い、申告された実験条件の詳細に誤りがないことを確認する態様で実施する。

PNET の下で平和目的の核爆発を実施する場所は TTBT の定める実験場以外の所であり、実施国の領域内であれば実施場所に制限はない。この実施場所は、検証国への通告により第一報が検証国に伝えられ、TTBT と同様に実施計画の詳細は後ほど申告される。

本議定書の第2節には、平和利用と目的を限定することにより付加される条件がまとめられている。第2節第1項は、運河の建設等に代表される大規模土木工事に核爆発を利用することを考慮し、掘削を容易にはするが、大気中に拡散する放射性物質の量を考慮して、爆心地点の深さを以下の式で与えられる Depth (m) より深くすること。

$$\text{Depth} = 30 \cdot Y^{1/3.4} \quad (5)$$

注) この深さはセミパラチンスク核実験場で放射性物質を地下に封じ込める深さ (式 (2)) の約 1/4 である。

第2項は、単一の地下核爆発とグループ地下核爆発の定義が明記されており、第3項は 20,000m³ を超える空洞内で 35kt を超える核爆発をしないこと、と規定している。

PNET の議定書は以上の検証活動を有効かつ効果的に行う条項を TTBT の議定書に追加したものであり、現地査察を含めた検証手法と手段に大きな変更点はない。

10. まとめ

1963年に発効した PTBT では、現地査察による検証が条約の遵守を確認する最終的な手段となる地下核爆発実験を除外せざるを得なかったが、PTBT は核分裂生成物等からなる多量の放射性物質を地下に閉じ込め、放射性物質を広範囲に拡散させていたフォールアウト

トは激減した。一方、ICBMによる核攻撃の可能性が現実のものとなり、核弾頭の破壊力の増大と小型・軽量化が急務となり、米ソ間の核開発競争は激化した。この核開発競争を抑える手段の一つとしての米ソの政治的な合意（1974年7月のモスクワ・サミット）がTTBTであり、150ktを超える地下核爆発を禁止する条約である。当時、遠隔地地震観測施設で観測した地震のマグニチュードから推定した爆発の規模が米ソ間で大きく異なり、批准の条件である議定書の策定は大幅に遅れた。主たる問題は、特定の観測点で観測したマグニチュードの値が同一であっても地下核爆発を起こした場所により、推定される爆発規模は2倍以上異なる場合があり、地震学的手法のみでは爆発規模が信頼できる範囲内で決定できないことにあった。問題を解決したのは米ソの共同検証実験（JVE）であり、査察と言うより両国が互いに確信することができる爆発規模の測定手法が確立した1989年のことである。1974年に署名されてから15年間の長きにわたり、核爆発の規模と誘発された地震のマグニチュードの関係について米ソは検討を続けたことになる。主たる原因は地震波の伝播経路によってp-波の減衰率が大きく異なることであった。このため、TTBTでは核実験場を指定し、条約の遵守を検証する国は核爆発実験で立会い、核爆発の規模を測定し、遠隔地地震観測施設で観測したマグニチュードと爆発規模の相関を再確認する、というJVEの手法を査察検認手法として議定書に反映させた。すなわち、TTBTは条約の遵守を検証する現地査察の一環として実験場で核爆発に立会い、爆発規模を測定する等、相互に条約の遵守を確認する共同実験の態様をとる特異な条約である。

一方、地下爆発エネルギーが地震エネルギーに伝わる結合の度合いを小さくする現象（デカップリング現象）にTTBTは触れていない。それは、現地査察で核爆発を起こす場所（キャニスターを設置する場所）に関する申告を立ち入り査察により確認（デカップリング⁴⁰を起こす空洞の有無の確認）することができるためである。しかし、PNETは核爆発の威力を平和目的のために活用するものであり、爆発の威力を殺ぐ空洞内で核爆発を起こすこと自体が目的に反することになる。このため議定書第2節第3項で制限を付けている。

TTBTおよびPNETが発効したのは1990年12月であり、ベルリンの壁が崩壊してから1年後のことである。幸運と言うか遅すぎたと言うか両条約の発効以降、条約に基づき現地査察が必要となる大規模地下核爆発実験は行われていない。

1.1. おわりに

1958年10月、米国、英国そしてソ連は包括的な核実験禁止条約CTBTの策定に向けて交渉を開始することに合意した。しかし、条約の遵守を検証する手段の信頼性と現地査察の必要性について意見が分かれ、幾度も交渉は中断した。1963年に発効したPTBTは検証

⁴⁰ 第1回の報告「包括的核実験禁止条約（CTBT）とその検証制度について（1）、
一 核爆発実験禁止条約の生い立ち、部分的核実験禁止条約（PTBT）の発効 一
5. 検証技術の問題点とその改善、デカップリング

手段としての現地査察を実施する必要が無い大気圏内、宇宙空間及び水中における核爆発実験を禁止することで合意した。PTBT で除外されている地下核爆発実験の全面的な禁止は 1990 年に発効した TTBT でも達成できず、遠隔地地震観測施設で観測した地震波の解析により識別可能と思われていた 150kt を超える大規模の核爆発実験を禁止するに止まった。米ソが TTBT に署名 (1974 年) してから発効するまでの 16 年間は地震学的に爆発規模 (150kt) を決定するための手法を確立する期間であり、米ソが互いに信頼できる検証手段を確立する期間であった。TTBT の議定書には条約の遵守を検証する手段としての現地査察に関する規定が盛り込まれている。しかし、TTBT の現地査察は実験を行う国の事前申告に基づく立会い検査と見ることができ、共同検証実験 (JVE) で採用した検証手法を議定書に反映したものである。

包括的に地下核爆発実験を禁止するには、隠密裏に行われた地下爆発実験の場所 (緯度、経度) と爆発の規模を遠隔地地震観測施設で観測する地震波の監視により決定し、現地査察により条約違反の核爆発実験が行われたことを立証する事実を見つけることのできる検証制度を持たなければならない。

PTBT も TTBT もかかる現地査察を必要としない条件の下で成立している条約である。CTBT の現地査察では爆心地を探し、核爆発により造られた核分裂生成物、あるいは放射化された物質の存在を確認すると言う全く新たな分野にチャレンジしなければならない。現地査察で核爆発があったことを立証する事実を見つけない限り、条約違反の核実験は行われていないと、結論付けられる。CTBT の現地査察は条約の遵守を検証する最後の砦である。

第3回目の報告「包括的核実験禁止条約 (CTBT) と検証制度について (3)」では現在ウィーンの CTBTO 準備委員会で審議されている CTBT の検証制度と問題点について紹介する予定である。