

変動帯自然災害論

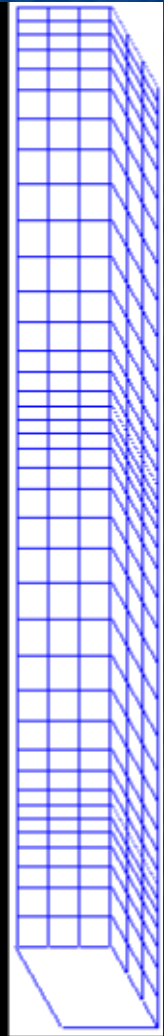
地震学と核実験探知

地球惑星ダイナミクス講座 大石真紀子

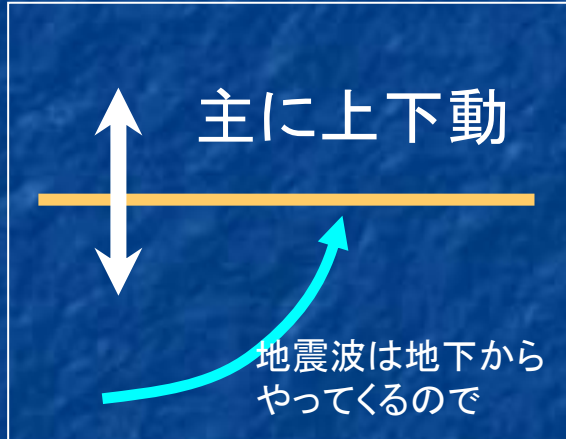
地震波の基礎

地震波 → P波とS波が存在

P波

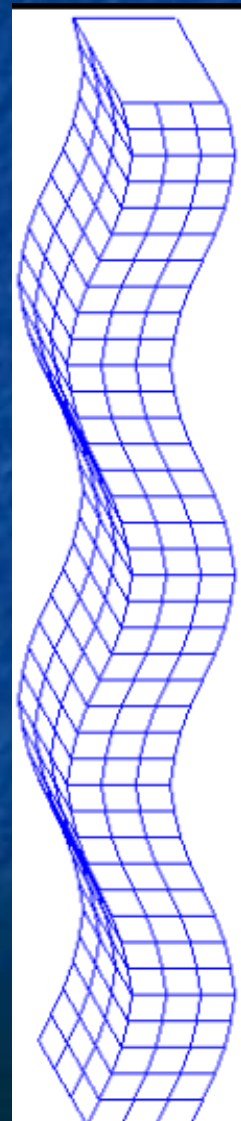


地表の揺れ

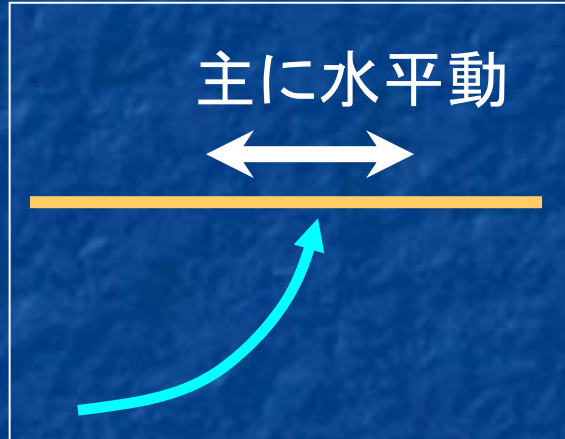


波の進行方向

S波

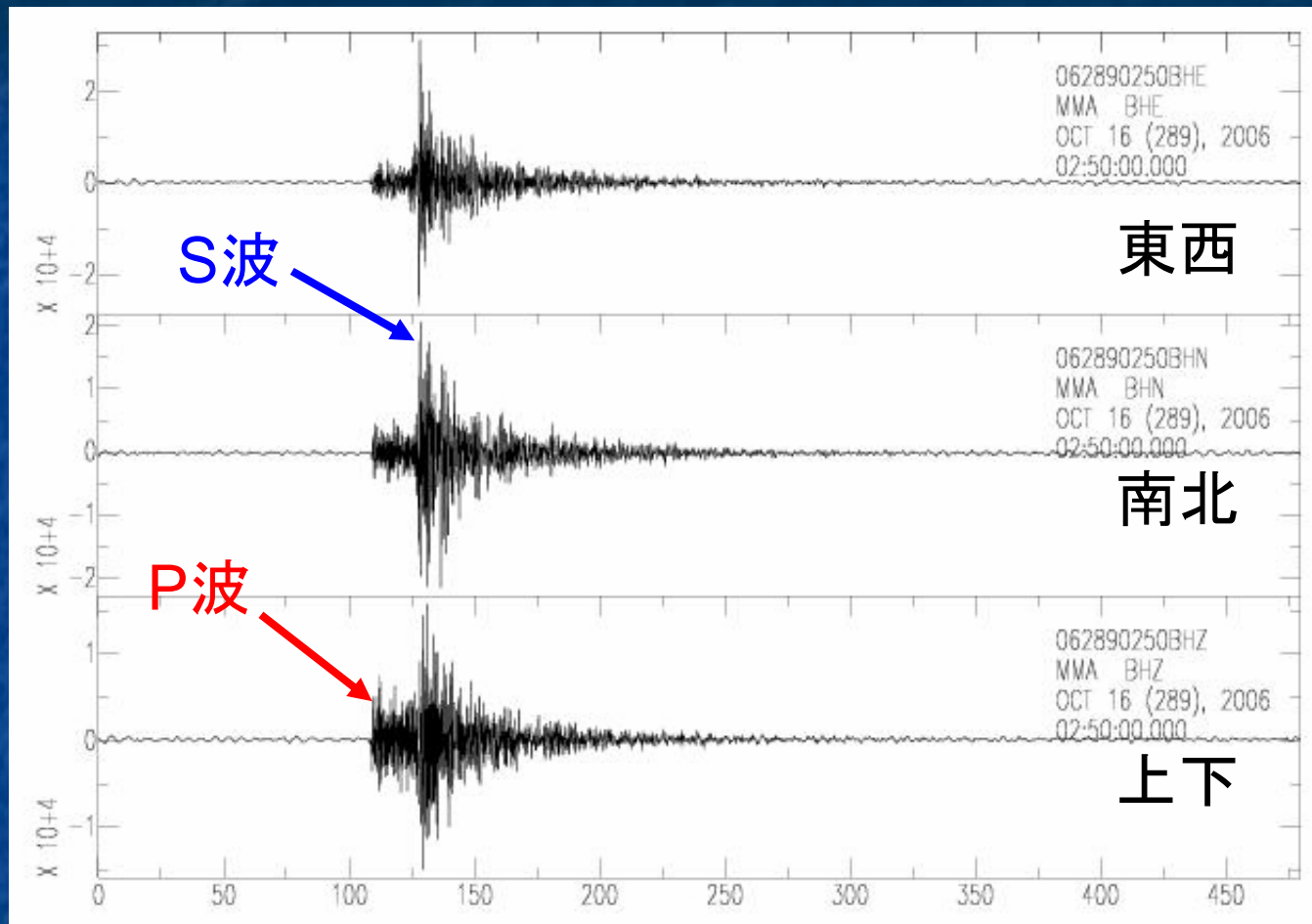


地表の揺れ



波の進行方向

自然地震の記録(東西・南北・上下)



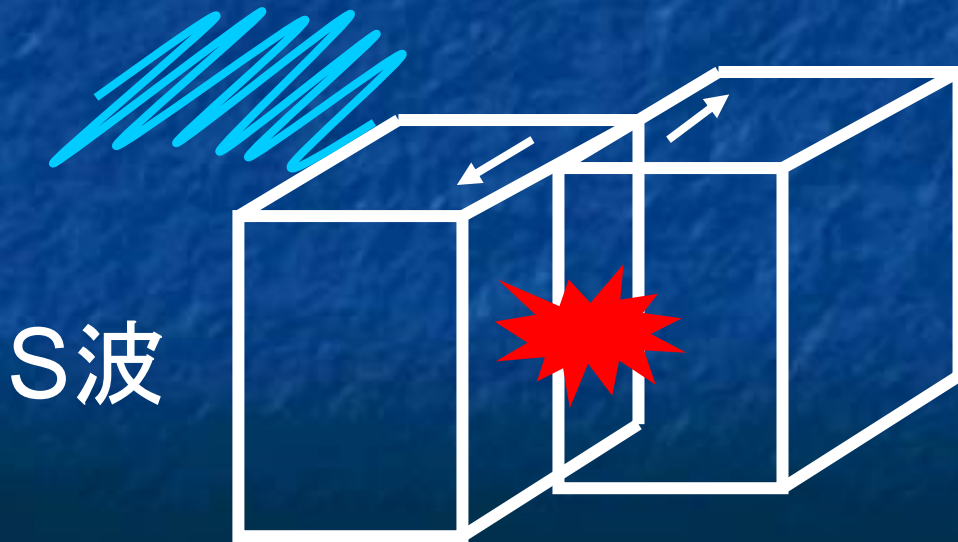
F-net 2006/10/16 青森県東方沖(Mj4.5) 三厩

P波は上下成分でよく見え, S波は水平2成分でよく見える

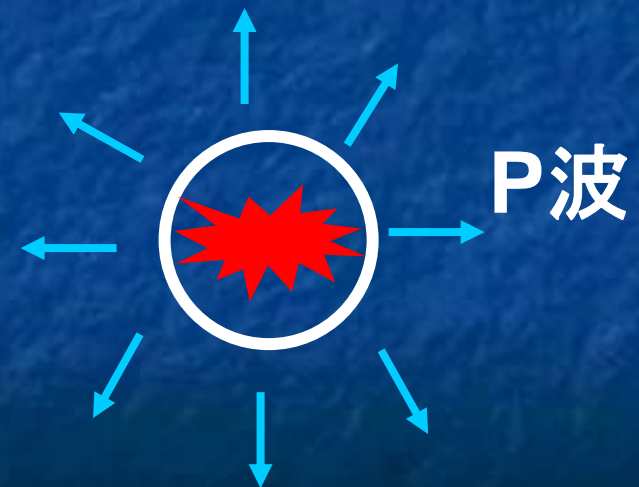
自然地震と爆発

- 自然地震 → 剪断破壊：S波が卓越
- 爆発 → 急激な体積膨張：P波が卓越

剪断破壊



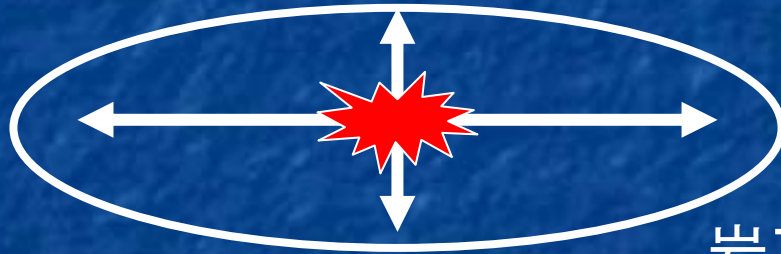
等方的な爆発



等方的な爆発とは限らない

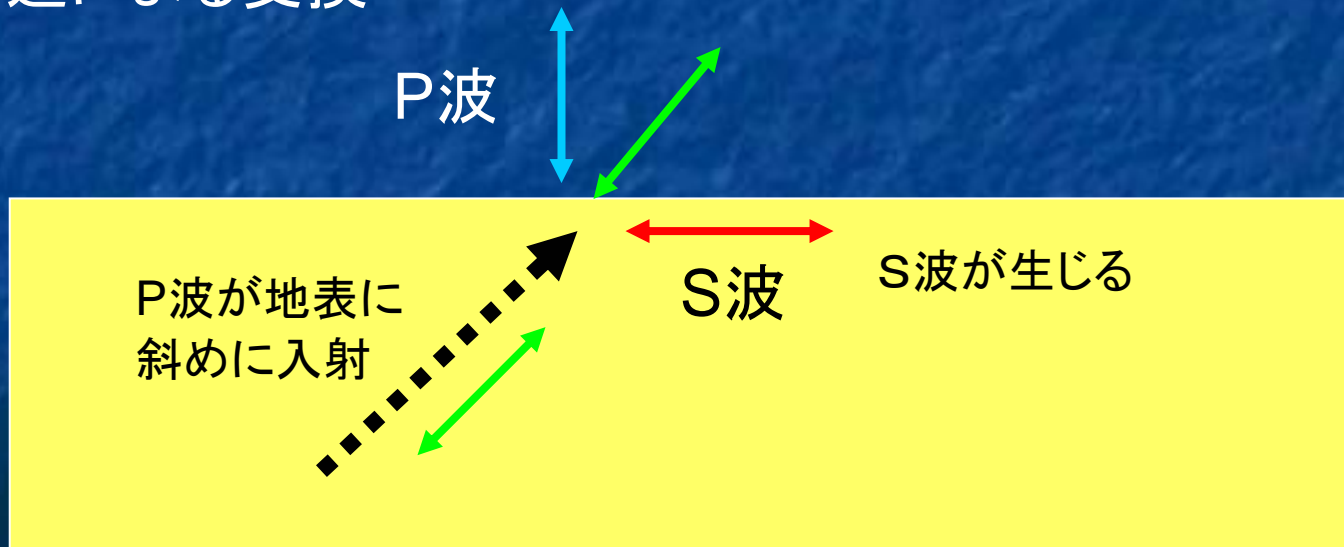
爆発 → 条件次第でS波が生じる

爆発が等方的でない時



岩石は等方的でない

地下構造による変換



まとめると

- 爆破の場合, P波が卓越
- 条件次第でS波も生じる
- P波は上下成分波形でよく見える

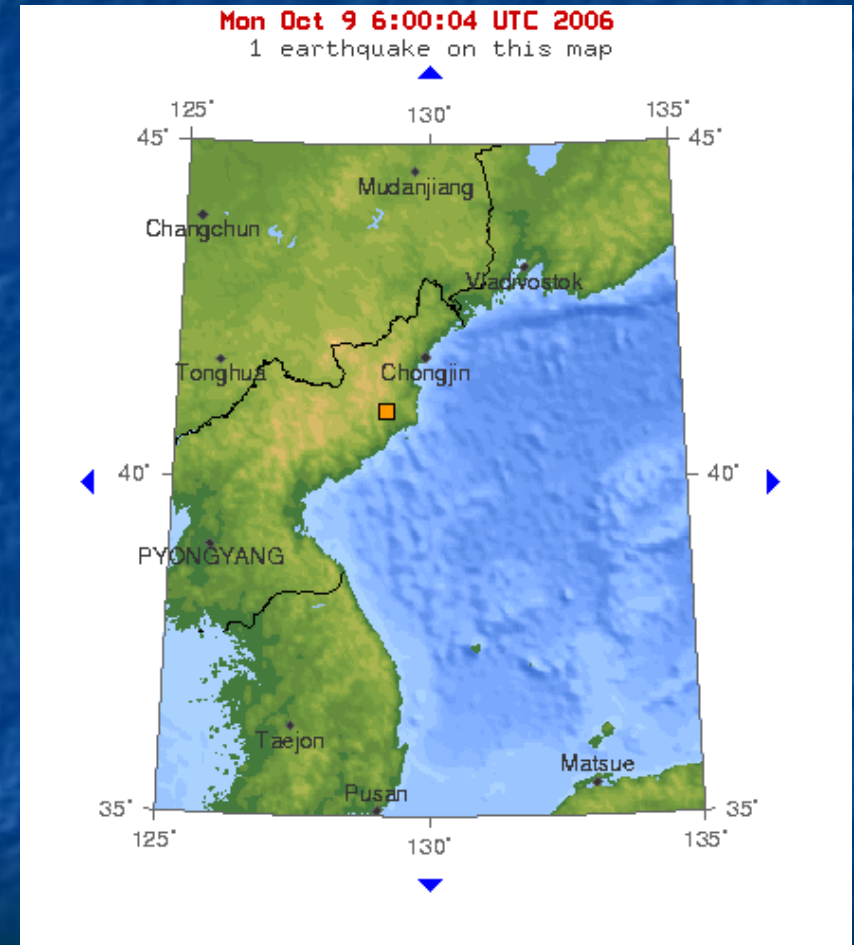
爆発が核か核以外か? → 波形だけでは判断不可

判断方法としては

- ・一定以上大きい爆発は核以外では難しい
- ・放射能計測など他の情報と組み合わせて判断

北朝鮮の核実験

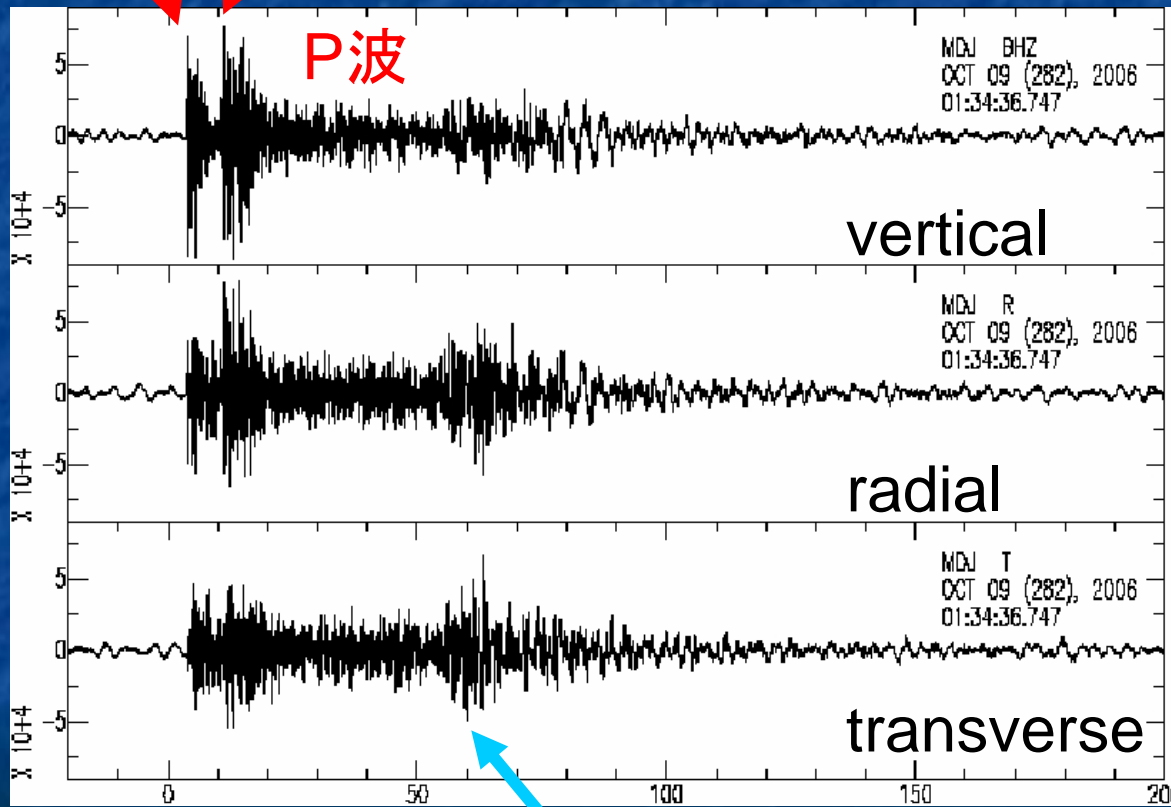
- 2006/10/9 10:35
- $M = 3.7 \sim 4.9$
- TNT火薬換算1キロトン未満
(広島原爆 16kt)
- 核実験実施の声明



USGSによる震央

中国(牡丹江)で観測された波形

P波が二つ到着している



観測点



radial

transverse

震源

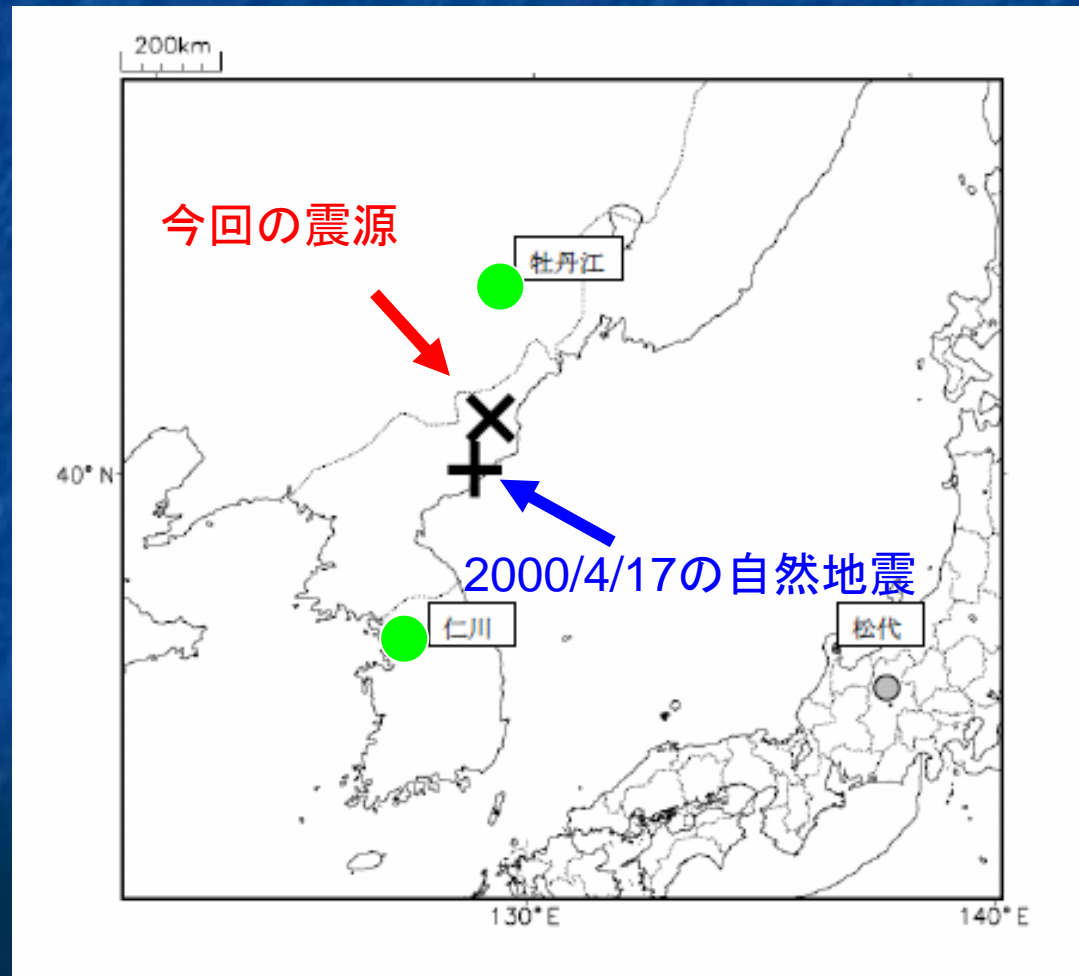
P波は基本的に
radial成分に現れる

自然地震の波形と比較

震源が比較的近い自然地震と波形を比較してみる。

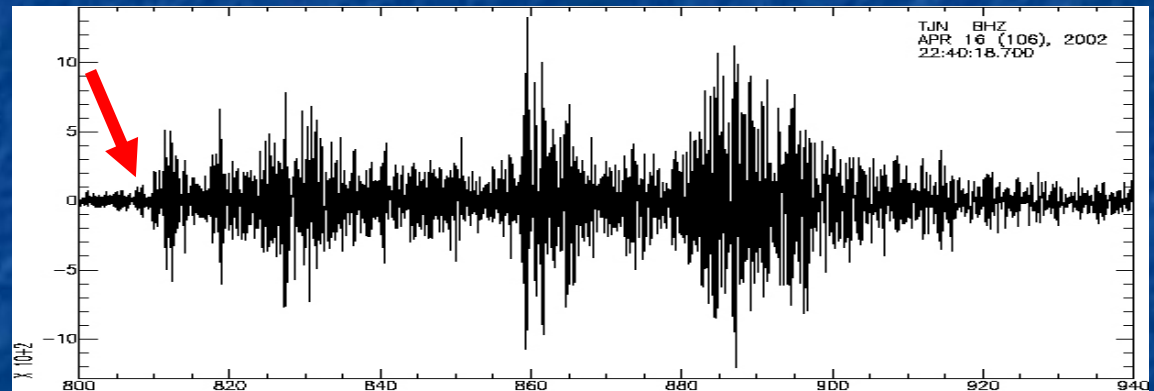
2000/4/17

- ・自然地震(M4.6)
- ・韓国(仁川)の観測点
波形で比較

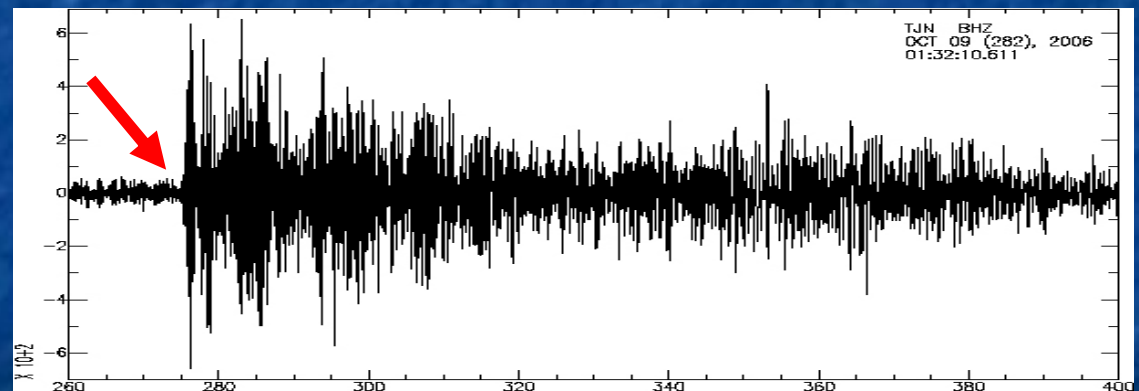


韓国の観測点(仁川)における波形比較

自然地震の波形
(2000/4/17)



今回の波形



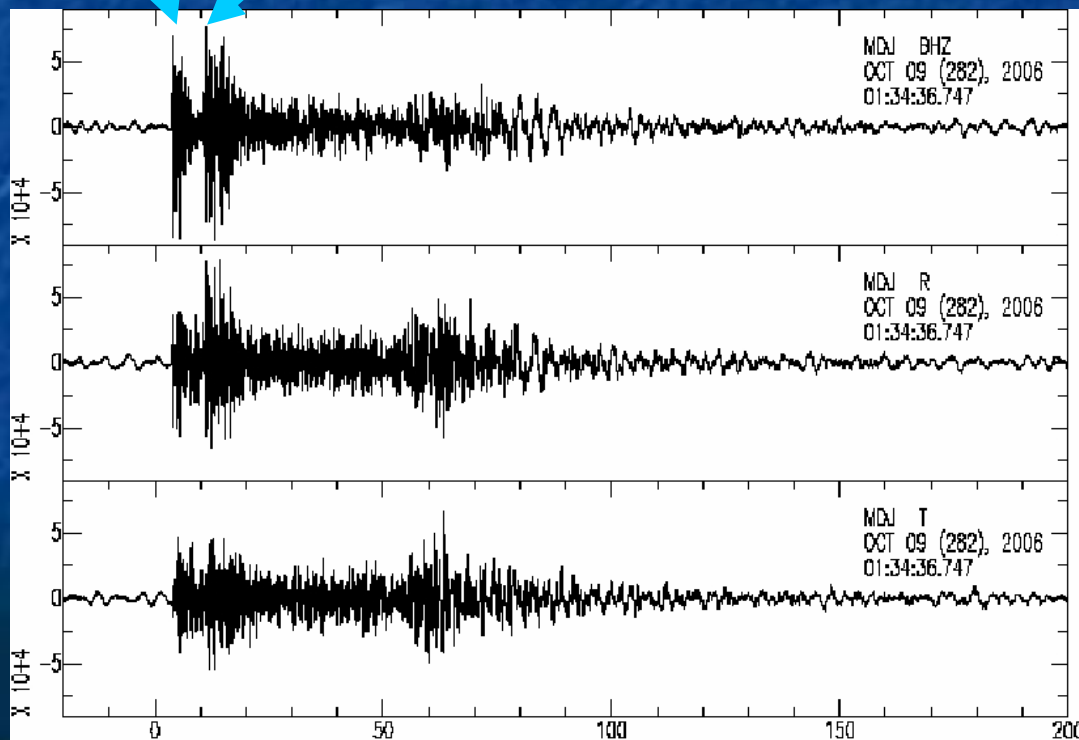
S波が不明瞭 → 爆破の可能性

by 気象庁

自然地震の誘発？

■ 中国・牡丹江における観測記録

1つ目のP波 2つ目のP波



1つ目のP波

爆発によるP波

二つ目のP波は・・・もしや自然地震？

自然地震が誘発された例

1968年12月 1.1Mt級の核実験が実施された。その後中・小の地震が数百個発生。最大余震はMs5.7であった。

右図はこのときに確認された断層の鉛直変位量。

ネバダ実験場では大規模な核実験後、地震が多発することが確認されている

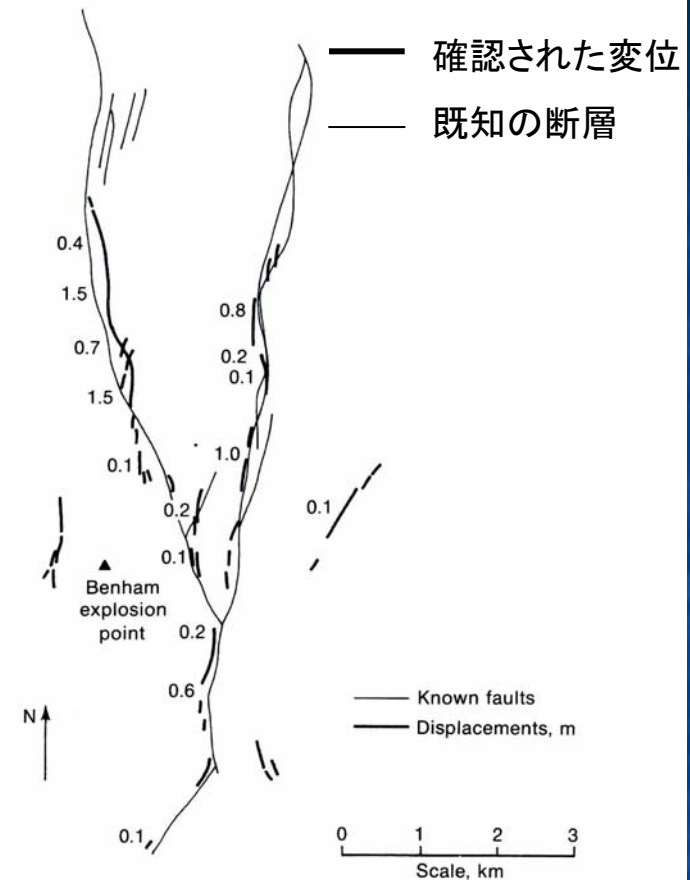


FIGURE 10.4
Vertical displacements observed on Pahute Mesa after Benham. (From Samuel Glasstone, "Public Safety and Underground Nuclear Detonations," AEC, 1971.)

dent from the general lack of seismic waves from the test at global seismographic stations. Because about thirty natural earthquakes of magnitude 4.0 alone occur each day around the world, it is hardly necessary to single out a nuclear trigger in Mururoa. Even more cogently, ground movement at a distance of 6,000 kilometers from a magnitude 4.0 earthquake is less than local microseismic noise.

今回：二発目のP波は反射波

・大陸の観測点

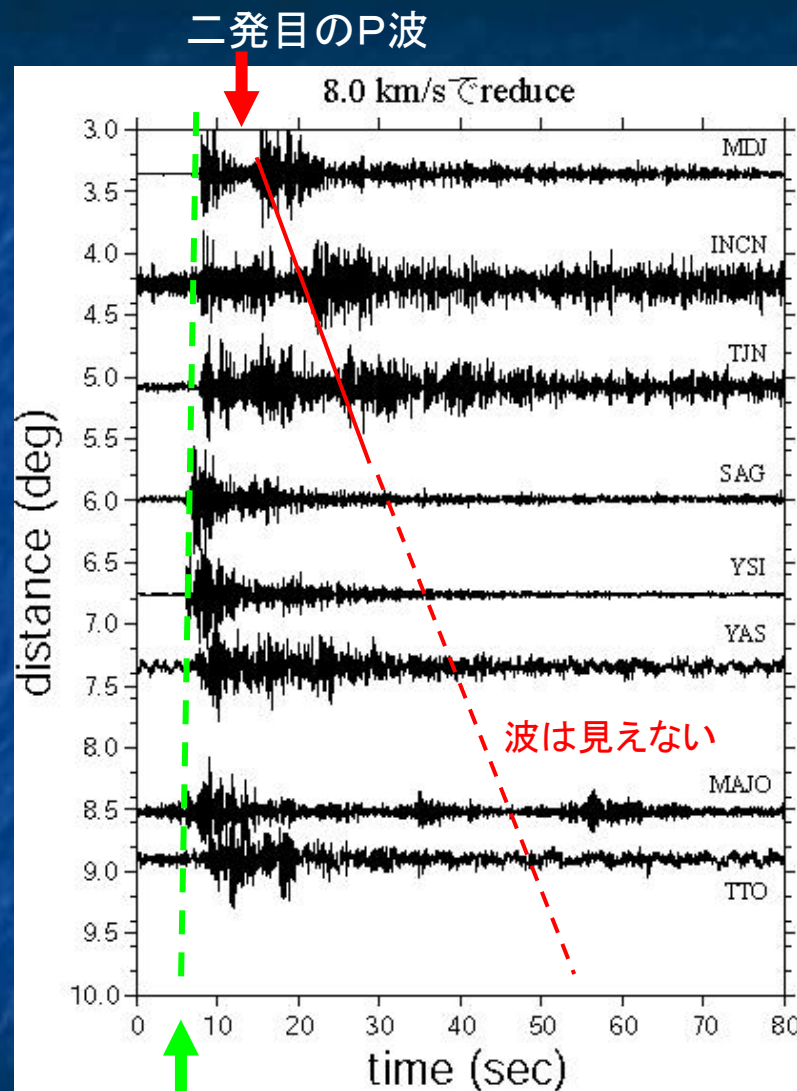
P波が二発。

・日本国内の観測点

一発しか見えない

二発目のP波が自然地震による波なら、日本の観測点でも見えるはず。 →見えない

大陸の地下反射面で反射してきた波と考えられる。



マグニチュードがばらついた理由

発表されたマグニチュード

- | | |
|--------------|-----|
| ■ 気象庁(日本) | 4.9 |
| ■ USGS(アメリカ) | 4.2 |
| ■ 韓国 | 3.6 |

推定された値がばらついた

マグニチュードは波の振幅と、震源と観測点の距離で決まる。角距離にして 30° 以内の観測点では速度構造によって、到達する波の振幅が局地的に変化する。したがってマグニチュードを正確に決めることが難しい。

30° 以遠に観測点があれば正確に決まるが、今回は規模が小さく、そこまで波が届かなかった。

地震学的観測でわかったこと

- 気象庁地震津波監視課の鉢嶺猛課長は今回の波形について「(核実験など)人工地震の波形と似ている」と認める。しかし、「震源が深い地震や観測場所によってはS波があまり観測されない地震もある」として、厳密には「100%人工地震とは言えない」と説明した。

(2006/10/23, asahi.com)

地震学的観測からは、今回の波形を人工地震と言いきれなかった。

- ・放射性物質の測定など、他の観測と組み合わせる
- ・波形で判断するには、観測点が震源近傍に存在することが必要

核実験探知の歴史

核実験の歴史

- 初めての核実験1945/7/16 アメリカ
- 広島・長崎への原爆投下 1945/8/6,9
 - 現在, 約2万発の核兵器が存在(と推定されている)

これまでの核実験

データ出典:長崎市平和推進室HP

	アメリカ	ロシア	イギリス	フランス	中国	インド	パキスタン	北朝鮮
大気中	215	207	21	50	23	0	0	0
地下	815	508	24	160	22	3	2	1
合計	1030	715	45	210	45	3	2	1

地震計による探知網

地震計で核実験を探知しようという試みは早くからあった。

- ・1959年 10カ国軍縮会議（後にジュネーブ軍縮会議）

地下核実験の探知が不十分

→ 地震波形による核実験の探知・識別研究

- ・WWSSN 全地球規模の地震観測網

1961年~1967年 約60カ国, 120点の観測点

実際には・・・

膨大な地震のデータを得る

→ 地震学の分野では発見相次ぎ, 大いに発展

地震観測による探知を逃れる

米ソの核開発競争は続く

相手に手のうちは見せたくない

核実験を実施したことを知られたくない。

- 地表にクレーターができない深さ
- 核実験を自然地震に見せかける
- 核実験を大きくor小さく見せる

自然地震や掘削工事に見せかける

工事に見せかける



発破工事

普段はTNT火薬で発破を行うが、一発だけ核爆発にする。

大地震を待つ

「M8クラスなら地震計の針が振り切れるため、核実験を行ったことがばれない。」

アメリカではこういう議論がほんとにあった。

自然地震に見せかける

- 波形を見れば、どのような断層が動いたのかがわかる。そこで自然地震のように破壊を発生させる。

自然地震:ある一点で破壊が発生、破壊が伝わっていく



いくつかの核爆発を時間差をつけて発生させる



ただしこの方法が実際に行われたという公表資料はない。

大きさをごまかす(1)

岩盤の硬さを利用

地震波は岩石中を伝わる際に、波の減衰が生じる。
岩石の硬さによって減衰具合が異なる。



地表で観測される地震波は同程度

大きさをごまかす(2)

- 空洞内爆破
- 空洞の中で爆破を行えば、周囲の岩石に伝わるエネルギーを減らすことができる。逆に岩石をしっかりと詰めれば地震波を効率よく発生させることができる

空洞の作り方

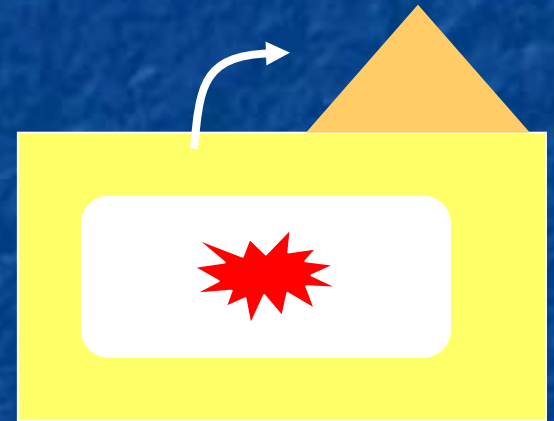
方法1: 掘る。

しかし地上に土山 → 空洞作っていることがばれる

方法2: 岩塩ドーム

岩塩ドームとは、地下にある岩塩の塊。水で溶かすことが可能。 → ばれない

岩塩ドームを使ってデカップリング理論を確かめる実験は実施されている。



核実験に関する国際条約

核実験に関する国際条約

■ 1963年 PTBT(部分的核実験禁止条約)

大気圏・宇宙・水中における核実験の禁止

当時、地下核実験を行なう能力をもっていた米ソのみが核開発を行なうことを狙う

1987年代後半 ソ連が中距離核ミサイルを実戦配備, アメリカも核ミサイルをヨーロッパに配備

→ ヨーロッパ各地で大規模な反核運動

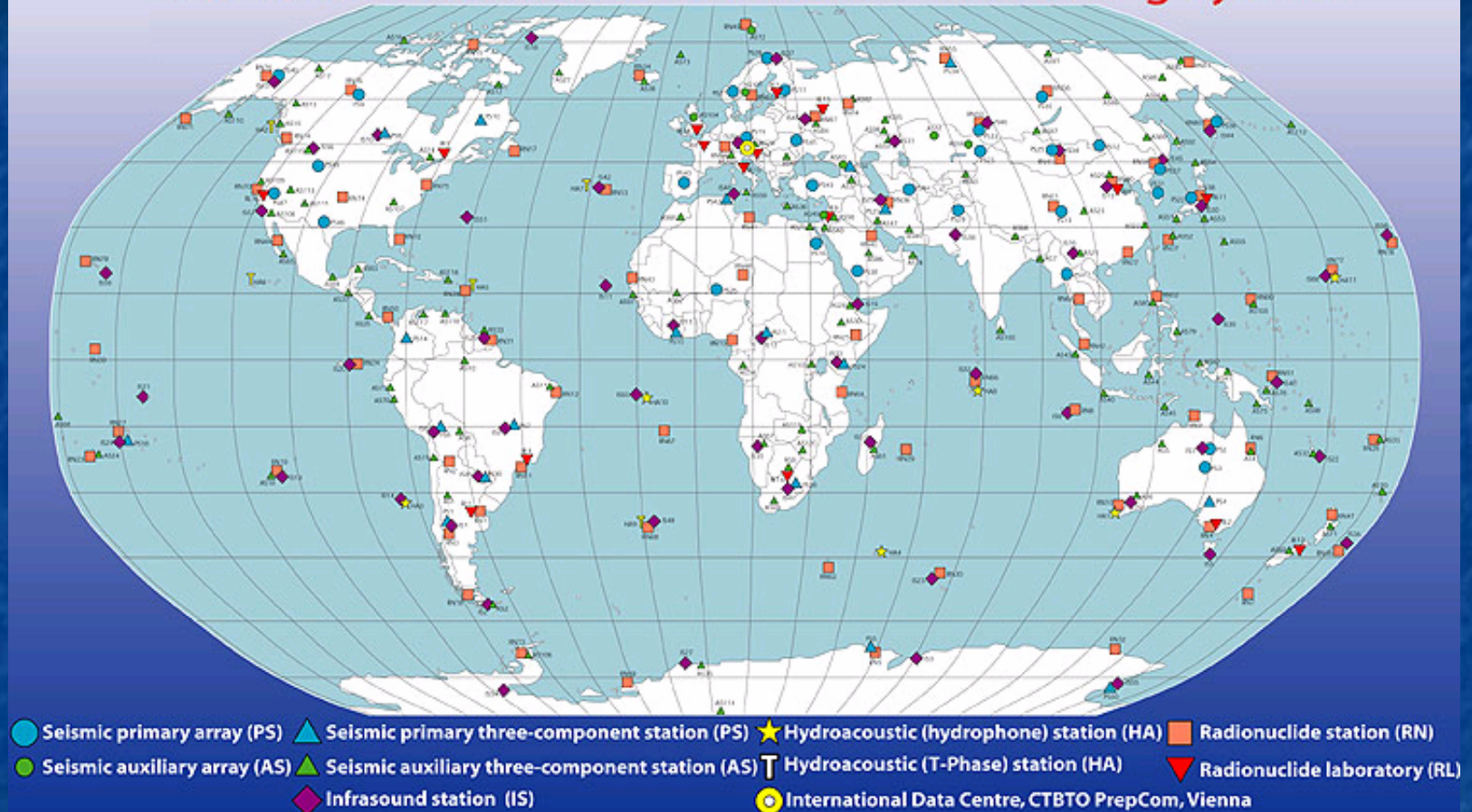
1987年 中距離核ミサイルの全廃条約

核実験・核兵器の規制へと国際世論が動く

1996年 CTBT (包括的核実験禁止条約)

地下核実験の禁止を決める

Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBTO)
Facilities of the CTBT International Monitoring System



これらの観測点から、CTBT本部に観測データを送っている。

今回は核実験があったと、これらの観測では断定できなかった。

CTBT(包括的核実験禁止条約)

- 宇宙空間, 大気圏, 水中, 地下, あらゆる場所での核実験の禁止
- (1) 観測網の構築 核実験の監視
- (2) 協議および説明 核爆発の疑いがあったら説明を求める
- (3) 現地査察 核実験が行なわれたか否かを確認める
- (4) 信頼醸成措置 核実験と間違えそうな爆破は報告する

条約は「発効要件国」が署名・批准することで発効

署名国 176カ国

批准国 135カ国

未署名 北朝鮮・インド・パキスタン

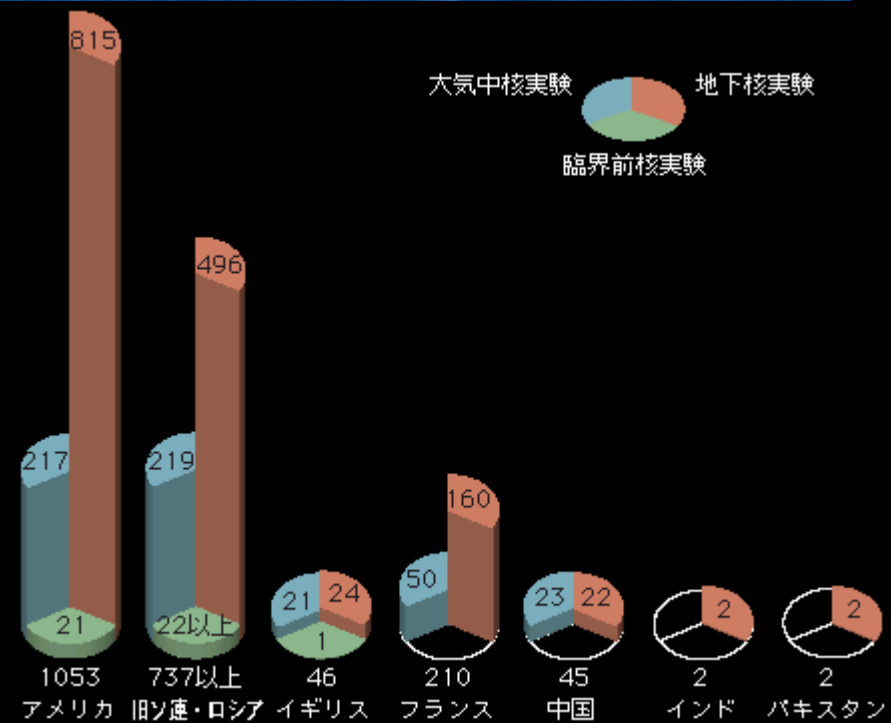
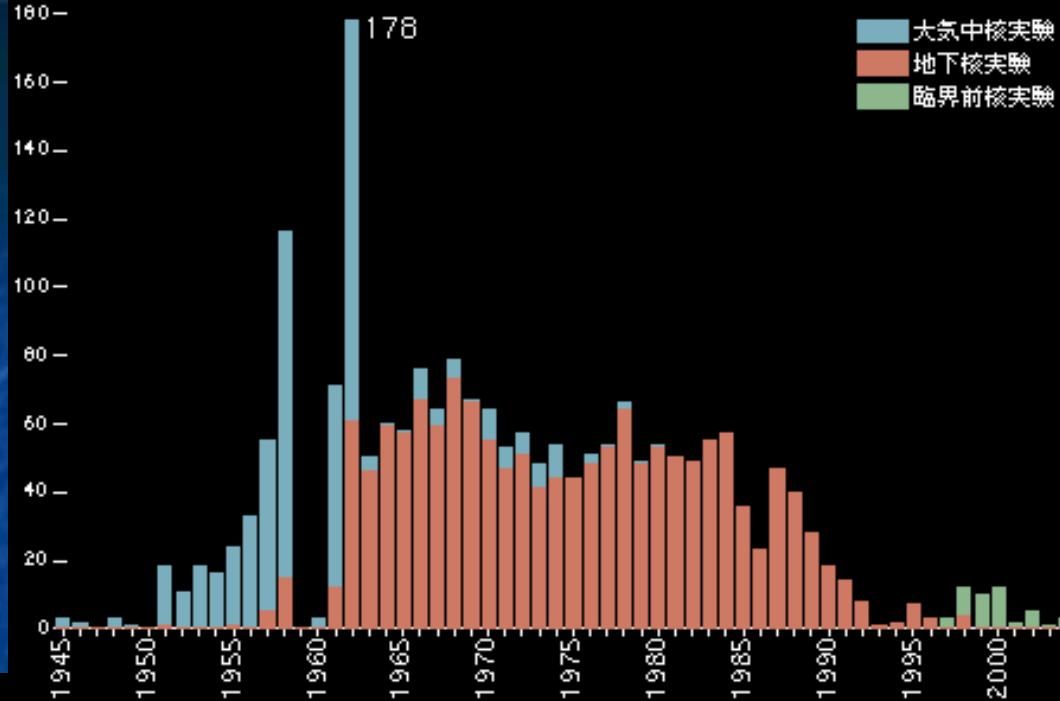
未批准 米・中・コロンビア・イラン・イスラエル・インドネシア

・まだ発効はしていないが活動は開始. 監視施設は300カ所(2003/9)

・発効要件国は原子力発電所を持つ国が主に指定されている。

最近の核実験

臨界前核実験が最近行われるようになった。



出典: 広島平和記念資料館(データは2003年12月現在)

最近の核実験：臨界前核実験



・臨界前核実験

1997~2006/8 米国, 英国, ロシア

核分裂の連鎖が始まる寸前で止める実験。核分裂が始まる状態までいかにして持っていくかを実験する(らしい)。

爆発を伴わない → 地震計による探知ができない

CTBTによって直接禁止されてはいない

核実験を探知するために

地震学的手法で核実験を探知するために必要なことは？

■ 地震計観測網の充実

→ 観測点が震源の近くにあることが重要

現在の地震観測網では限界がある。他の方法と組み合わせることが有効。

例えば

- ・測地学的手法（爆発における地表の変位を検知する）
- ・放射性物質計測