

巨大災害の制御と予防

北海道大学 藤井義明・児玉淳一・福田大祐

1. はじめに

人類の存亡に関わる巨大災害として小惑星の衝突・破局噴火・都市直下型地震・海溝型の巨大地震などが挙げられる。小惑星については、既に衝突を予防するための研究が開始されている。噴火や地震については、これらの予知が可能で、かつ、住民の避難に成功したところで、主に人的被害が減るだけで、インフラは壊滅する。ところが、これらを制御、さらに予防することができれば、被害はゼロになる。そこで、ここでは、超臨界発電を用いた破局噴火の予防、注水による直下型地震の予防、地下核爆発を用いた巨大地震の予防について提案し、コストとリスクについて検討する。

2. 破局噴火

たとえばイエローストーンは210万年前(2450 km³)、130万年前、63万年前(1000 km³)に噴火した。データは少ないものの、これらから、噴火間隔は73.5±9.2万年となる。次の噴火が、63万年前から数えて73.5±9.2万年後に起こると仮定すれば、噴火確率は1年後、10年後でもゼロではなく、数10万年後に100%となる(図1)。すなわち、イエローストーンはいつ噴火してもおかしくなく、数10万年後までに噴火するのは確実である。イエローストーンが噴火すると半径1000 km以内の人間は窒息死し、成層圏まで吹き上がった硫酸エアロゾルが日射を遮るために10度ほどの気温低下が数10年続き(<http://www.epochtimes.jp/jp/2010/08/html/d23986.html>)、北半球の人類は絶滅する。

そこで、超臨界発電を用いた破局噴火の予防を提案する。超臨界発電とは、マグマだまりの近傍まで坑井を掘削し先端付近で熱交換して得た地熱エネルギーにより発電するものである(Elders et al., 2013)。噴火エネルギー(E_E , J)が噴出物体積(V_E , m³)に比例すると仮定すれば、1883年のクラカトア噴火におけるエネルギーと噴出物体積から、

$$E_E = 84 \times 10^6 V_E \quad (1)$$

が得られ(藤井, 2011)、イエローストーンの過去の噴火のエネルギーを平均噴火間隔で除すると8.9 MWと3.6 MWとなる。安全側を採用しても、たった10 MW(典型的な核分裂反応炉の出力は1 GWである)の超臨界発電でマグマだまりのエネルギーを解放すれば破局噴火が予防できることになる。

超臨界発電における技術的な課題はマグマだまり近傍における低pHと高温によるロッドの腐食とビットの摩耗であるが、前者についてはシリカカーバイド複合材料(Nakazato et al., 2013)、後者については高圧パルス掘削(Shiegg et al., 2015, 100 EUR/m)により解決可能で、発電で利益を産むことができると予想される。掘削等の刺激により、かえって噴火を誘発するリスクが指摘でき、事前の十分な研究が必要なことはいうまでもない。

3. 直下型地震

我が国では2000年から2016年にマグニチュード6以上の内陸地震が22発生している。最近では、2016年の熊本地震や鳥取地震の被害が大きかった。これらの被害は、破局噴火や海溝型地震に比べれば小さいが、たとえば1976年の唐山地震では24万人から65万人が亡くなったとされている(https://en.wikipedia.org/wiki/1976_Tangshan_earthquake)。

岩盤に注水すれば有効応力が低下して誘発地震が起きることはよく知られた事実なので、これを利用して小規模な地震を多数発生させ、大規模な地震を予防することを提案したい。例えば、熊本地方ではマグニチュード6程度の地震が100年に一度発生するといわれている。このエネルギーは被害を引き起こさないマグニチュード4の地震を1000事象誘発すれば解放することができる。

注水量 V (m³)と誘発地震の最大マグニチュード M_{\max} の間には、EGS (Enhanced Geothermal System)等のデータから、

$$M_{\max} = 0.75 \log V - 0.48 \quad (2)$$

という関係が提案されており(Fujii et al., 2014)、 9.4×10^5 m³の注水で最大M4となり、おおよそ1月に1回、1.5 m³/sで一週間程度の注水による直下型地震の予防が期待される。

直下型地震の震源深さは1923年関東地震で23 km、1946年南海地震で24 km、1995年兵庫県南部地震で16

キーワード: 破局噴火、都市直下型地震、海溝型巨大地震、制御、予防

連絡先(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目北海道大学大学院工学研究院、Tel: 011-706-6299)

km、2016年の熊本地震で12 km、鳥取地震で11 kmなどであり、現在の最深のボーリング(12.3 km, Kola Superdeep Borehole, 2011, 9.1 km, KTB, 1994)記録でもまだやや足りず、シリカカーバイトのロッドや高圧パルスボーリング技術の開発が必要である。水のコストは、札幌市の風呂水で計算して100年分136億円、ボーリング費用はKTBのコスト420億円から掘削深さに比例すると仮定すれば熊本地震の場合560億円かかり、合計で100年分700億円となるが、熊本地震の被害額2.4~4.6兆円のわずか1.5~2.9%である。もちろん、注水により、かえって直下型地震を誘発してしまう可能性は指摘でき、事前の十分な研究と注水時の注意深い地震学的なモニタリングが必要であることは言うまでもない。

4. 海溝型巨大地震

海溝型の巨大地震では2004年スマトラ島沖地震で死者約23万人、2011年東北地方太平洋沖地震で死者・行方不明者約2万人となっている。震源は総じて内陸型地震より深く、近い将来ボーリングによる注水が可能になると期待するのは難しい。しかしながら、概ね年間1 MT程度の地下核実験が行われると巨大地震の発生がない(図2)ことが指摘されている(Fujii et al., 2017)。

原因は定かではないが、地下核実験による応力波が小規模な地震を誘発して巨大地震のエネルギーを解放したのかもしれない。いずれにしろ、この現象を利用し、安全のため年間2 MTの地下核爆発により巨大地震を予防することを提案したい。現存の核弾頭約7000 MTは約3500年分にあたり、劣化を考えると、新たに核爆弾を製造せずに、核軍縮しながら100年程度は巨大地震を予防できる可能性がある。

韓国の推定によると、最近の北朝鮮による地下核実験は1回あたり約5億円である(<http://www.sankei.com/world/news/161005/wor1610050062-n1.html>)。年間2 MTの核爆発が10回に分けて実施されると仮定すれば、1年あたりのコストは50億円になる。1906年から2012年における被害の大きかった主な巨大地震は2011年東北地方太平洋沖地震約24兆円、2008年四川地震約9兆円、2010年チリ地震1.5~3兆円であり、この期間の年間平均被害額は少なくとも年あたり3000億円となり、上述のコストは十分小さい。本方法については、核爆発により、かえって巨大地震を誘発してしまう可能性が指摘でき、事前の十分な研究が必要であることに加え、極めて困難と予想される社会的合意を得ることが最大の課題となるであろう。

引用文献

藤井義明(2011)、自然はやんちゃ、平成23年度北海道資源・素材フォーラム「北海道の地震・津波・噴火」(2011, 12/16, 札幌)資料、pp. 2-5

Elders, W.A., Friðleifsson, G.Ó. and Albertsson, A., 2014, Drilling into magma and the implications of the Iceland Deep Drilling Project (IDDP) for high-temperature geothermal systems worldwide. *Geothermics*, 49, 111-118.

Fujii, Y., Takahashi, K., Fukuda, D and Kodama, J., 2014, Shale gas extraction and CCS may induce serious seismicity. *Proceedings of Workshop on Rock Engineering and Environment at ARMS8 (2014 ISRM International Symposium - 8th Asian Rock Mechanics Symposium)*, Sapporo, Japan, Oct. 14-16, p. 41-46.

Fujii, Y., Yamada, M., Fukuda, D. and Kodama, J., 2017, Prevention of giant earthquakes by underground nuclear explosions, *MMIJ Spring Meeting*, 3411-17-07, Tsudanuma, Japan, Mar. 29.

Nakazato, N., Kohyama, A. and Kohno, Y., 2013, Effects of pressure during preform densification on SiC/SiC composites. *Open Journal of Non-metallic Materials*, 2013, 3.

Schiegg, H.O., Rodland, A., Zhu, G. and Yuen, D.A., 2015, Electro-Pulse-Boring (EPB): Novel super-deep drilling technology for low cost electricity. *Journal of Earth Science*, 26, 037-046.

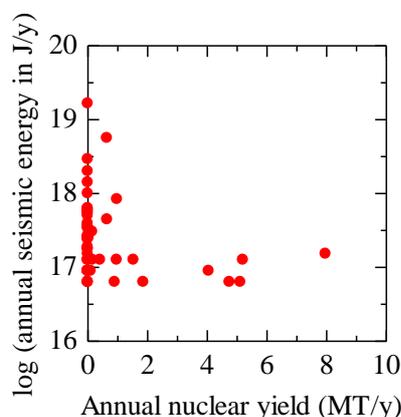
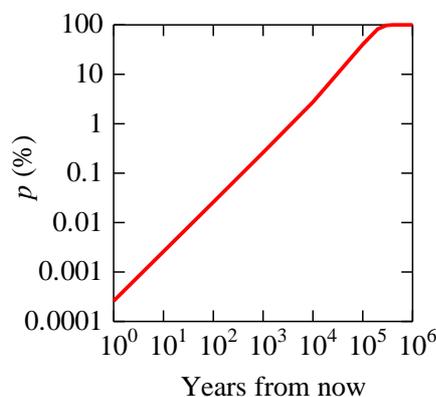


図1 イエローストーンの噴火確率

図2 1900年から2016年までの地下核実験の年間収量と年間地震エネルギー