JSA福岡支部・福岡核問題研究会主催オンライン・シンポジウム20230826

原子力規制における深層防護−その深堀りと拡張−

岡本良治

内容

§0 要約
§1 背景と動機
§2 原子力規制における深層防護思想の深堀り
§3 日本の新規制基準とその問題点
§4 深層防護の拡張
§5 議論

File version=20230826A

§0要約

- 原発反対運動の強化/発展のための方策は原発の問題点を指摘することだけではなく、何らかの理由で「必要悪」として原発を認める人々や、原発の潜在的な危険性を認めた上で、その安全性の確保/リスクの最小化に真摯な関心をもつ原子力関係者や、原発訴訟を担当する裁判官などに対して代替的な判断材料を提供することも有意義と思われる。
- 深層防護の思想/哲学は、元来は軍事的な概念のひとつであるが、すでに社会の多くの場面に採用されているだけではなく、国際的な原子力規制において、歴史的に中心的な役割を果たしてきた。
- しかし、深層防護、特に、設計想定外の事故（過酷事故）の影響緩和の必要不可欠性とその根拠についての深掘りが十分ではなく、事故の過酷度と頻度の関係は、正規分布的ではなく、べき乗則的であることが示唆される。
- また施設外への影響が不可避の場合、避難だけでは不十分であり、移住も考慮すべきである。
- 国際的な安全保障環境が悪化していると見なす場合、原発への軍事的攻撃への対処は極めて不十分である。
- IAEAの深層防護第4層の実質無用論、新たな安全神話の進行の恐れ

§1 背景と動機

過去数年の主な情勢変化：

原発反対運動の相対的な低下

気候変動の激化；温暖化→炎暑化、沸騰化

原発反対運動の「一部」；気候変動人為起源に対する懐疑的態度
「気候変動＝原発推進のための言い訳」

原発推進勢力の戦略変化；
脱炭素電源としての原発
→脱炭素電源＝「再エネ＋原発」

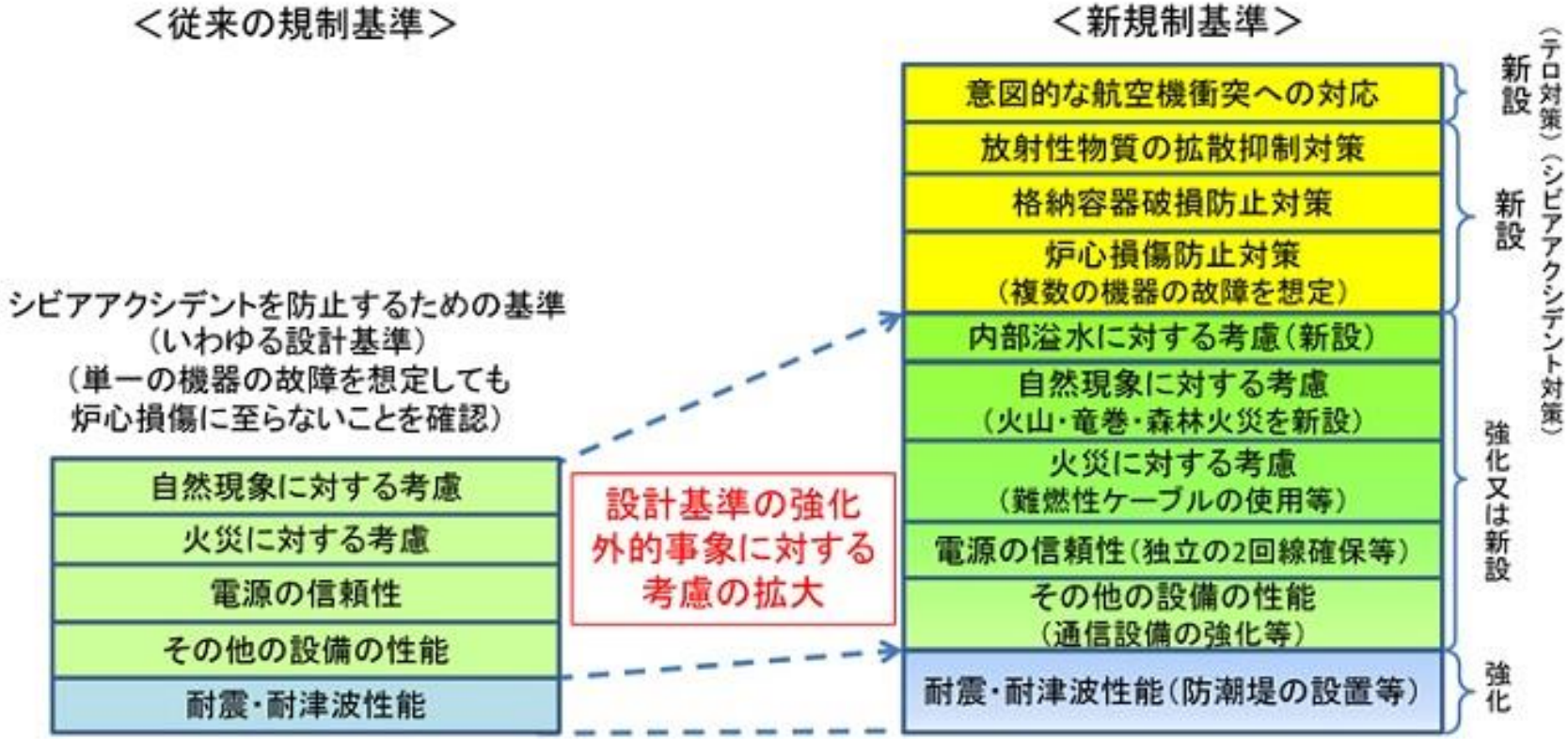
原発再稼働に対する世論の変化；反対よりも容認が上回る

脱炭素GX法案の成立；原発推進の実質的中心としての原発再稼働、
運転期間の延長

→原子力規制における深層防護の批判的吟味も相対的に重要！

https://www.nra.go.jp/data/000102350.pdf

発電用原子炉に係る従来の規制基準と新規制基準の比較



しかし、新規制基準の内容については様々な視点からの批判がある。

2011.3.2 下正弘「ＩＡＥＡ基準の動向−多重防護(5層)の考え方等」
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/annai/kihon22/gensoku/20110302/siryo2-4.pdf

＝＝＝2011.3.11　福島第一原発事故====

2011年12月、諸葛宗男「今こそ深層防護の安全哲学の深耕を」
日本原子力学会誌, Vol. 53, No. 12（2011）
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/53/12/53_794/_pdf/-char/ja

2012.2.1 博田 忠邦「多重(深層)防護の論点と今後の方向性」
2012年2月1日
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/annai/kihon22/gensoku/20120201/siryo2.pdf

2012.3.7 岡本孝司「事故でわかった原子力安全の課題とは」
https://www.jaero.or.jp/data/02topic/fukushima/interview/okamoto_t.html

2013.7.16 山口彰「深層防護と新規制規準による原子力安全の確保」
http://committees.jsce.or.jp/2011quake/system/files/130716_00.pdf

日本原子力学会・標準委員会、技術レポート
「原子力安全の基本的考え方について　第Ⅰ編　別冊　深層防護の考え方」
2014年5月。http://www.aesj.or.jp/sc/s-list/tr005anx-2013_op.pdf

福岡核問題研究会
「原子力規制世界最高水準という虚言の批判
—世界一楽観的な進展シナリオに沿った，世界一奇妙な評価—」
2014 年12 月4 日
http://jsafukuoka.web.fc2.com/Nukes/resources/sekai1kyogen_hihan.pdf

→2022年11月時点で思えば、標題は主観的過ぎる、主題（深層防護）を標題に含ませるべきであったと感じるが、内容的には、少なくとも国内の脱原発派の中では、異色でかつ先駆的だったかもしれない。

日本原子力学会・標準委員会、技術レポート
「原子力安全の基本的考え方について　第Ⅰ編　別冊2　深層防護の実装の考え方」
2015年12月。https://www.aesj.net/document/tr005anx2-2015_op.pdf

佐藤　暁「深層防護の考え方とフィルター・ベントの設計」
科学，Vol.85，No.5(2015),497.
http://www.ikata-tomeru.jp/wp-content/uploads/2017/02/甲Ｂ第284号証.pdf

20150818
山本章夫「深層防護を改めて考える」
（日本原子力学会）原子力安全部会夏期セミナー，
2015年8月18日
http://www.aesj.or.jp/~safety/20150831_yamamoto.pdf

脱原発弁護団全国連絡会編、「新規制基準の考え方」検討報告書
(2017年6月1日）
http://www.datsugenpatsu.org/bengodan/news/17-07-24/
http://www.datsugenpatsu.org/bengodan/wp-content/uploads/2017/07/%E8%80%83%E3%81%88%E6%96%B9%E7%B5%B1%E5%90%88%E7%89%88ver14_0619-%E8%A8%82%E6%AD%A3-1.pdf

Eric Marsden,
The defense in depth principle -A layered approach to safety barriers-
2022-05-23
https://risk-engineering.org/concept/defence-in-depth

「深層防護」の否定論とそれへのコメント

「深層防護」を議論することは原発の再稼働を容認することを意味する：

↑

科学的・技術的な安全論争は主として深層防護の1，2，3層までの議論であり、4，5層は含まれない。また、当該設備の安全性が十分に高いことを論証することも困難であるが、危険性が何時、どの程度に顕在化するかを具体的に明示することも同様に困難。すなわち安全論争に決着を付けることは一般的には困難である、と思われる。

近年の原発裁判における主な論点の一つは、潜在的危険性(抽象的危険性)か顕在的危険性(具体的危険性)かどうかのようである。

「深層防護」の無益論とそれへのコメント

原子力市民委員会編、特別レポート5『原発の安全基準はどうあるべきか』、6章、p.140；http://www.ccnejapan.com/CCNE_specialreport5.pdf
「原発は確率的安全に頼った設計であり、多重防護や深層防護をどんなに強化しても、大規模な事故の発生可能性は残ることになる。」

↑

深層防護の思想(または哲学または戦略)が誤解されている可能性。

1）確率的安全に頼った設計でも確定的安全に頼った設計でも事故発生の完全な防止の保障は困難。

技術システムや現象の種類毎にこれらの間に相対的信頼度の差異はあるかもしれないが、水蒸気爆発のように，確定的な安全の担保が困難な現象もある。

2）過酷事故を起こさないための措置を深層防護の1，2，3層で行ない、設計時想定外の事態（過酷事故）が起きた場合の対処を4，5層で考え、各層相互の独立性も目指す。**確かに深層防護の1，2，3層をどんなに強化しても過酷事故の発生の可能性をゼロにできない。だからこそ、過酷事故が発生した場合、4層で影響緩和を、5層で放射性物質の施設外への拡散から住民避難を目指している。**

3）当該設備の安全性が十分に高いことを論証することも困難であるが、危険性が何時、どの程度に顕在化するかを具体的に明示することも同様に困難。すなわち安全論争に決着を付けることは極めて困難。

§2原子力規制における深層防護思想の深堀り

§2.1 深層防護思想の背景

原発(原子炉と使用済み核燃料プール)の巨大な潜在的危険性

電気出力100万キロワット級の原発を1年間稼働させると、
広島原爆の放射性物質の約1000倍の放射性物質が生成される。

参考：1）小出裕章氏 ロングインタビュー(2019.7.12)
https://www.radiostreet.net/radio/159/2922)
2）岡本講義資料
http://rokamoto.sakura.ne.jp/education/nuclearpower/used-nuclear-fuel-3-qa.pdf

低濃縮ウラン核燃料(濃縮度3%) の組成は，ウラン238 が約97%，ウラン235 が約3% であるが，原発を1 年間運転した後，使用済みの核燃料の組成は，ウラン238 が約95%，放射性の核分裂生成核(約3%)，未燃焼のウラン235 が約1%，生成されるプルトニウム239などのプルトニウムが約1% であるとして

100 万キロワットの電力を持つ原発を1 年間運転するには，核燃料が21 トン必要と言われている．この場合，放射性の核分裂生成核の質量と生成される，放射性であるプルトニウムの質量の和は約840kg：

広島原爆で生成された核分裂生成核とその他の放射性核種の質量は約0.9kg。

原発事故で放出された放射性物質（または放射能）

今中哲二「チェルノブイリ事故による放射能放出の特徴は、原子炉の爆発とそれに続く黒鉛火災により、約10日間にわたって放射能の大量放出が継続したことである。放出された放射能の量は、1986年のソ連報告書(4)によると、全部で約１億キュリーとされ、そのうち、事故直後の甲状腺被曝が問題となるヨウ素131は730万キュリー、広範囲で長期的な汚染が問題となるセシウム137は100万キュリーとされている。しかし、ソ連報告書の値は、かなり小さめに放出量を見積もっており、私たちの評価では、ヨウ素131は2500万キュリー(炉内の70%)、セシウム137は430万キュリー（57%）という値が得られている(5)。広島の原爆で生成したセシウム137の量は3000キュリー程度であるから、430万キュリーというと、その1400倍になる。」（「技術と人間」1992年８月号）
http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/Chernobyl/GN/GN9208.html

福島第一原子力発電所事故では、原爆の168.5 倍の放射性物質がまき散らされたという推定（資源エネルギー庁）；
http://www.enecho.meti.go.jp/about/faq/009/pdf/45.pdf

§2.2 深層防護(defense in depth)は元来は軍事戦略の一種

例えば以下参照；http://safety-management.na.coocan.jp/img/SM04a.pdf

日本国内では**専守防衛**または戦略的防衛と言われることもある。
実例1；幕末における征長；竹本知行「大村益次郎」(ミネルヴァ書房、2022年), p.207.
実例2：2022年2月24日に開始されたロシアによる軍事侵攻に対するウクライナの応戦。

1994年に予言されていた：

Barry Posen's 1994 defense concept for Ukraine
http://ssp.mit.edu/publications/2022/a-1994-defense-concept-for-ukraine?msclkid=636eac44b4f711eca9791ec35e05b78b

深層防護は多くの民政分野においても採用されている：

自動車(異常発生の防止、異常の緩和、事故への進展防止、人的被害の防止、人的被害の緩和、交通事故保険)
サイバーセキュリティー分野
航空セキュリティー分野
原子力分野
山本章夫「深層防護を改めて考える」，(日本原子力学会)原子力安全部会夏期セミナー，2015年8月18日
http://www.aesj.or.jp/~safety/20150831_yamamoto.pdf

§2.3 米国・原子力規制員会(NRC)における深層防護

Office of Nuclear Regulatory Research, USA

Historical Review and Observations of Defense-in-Depth, April 2016

https://www.nrc.gov/docs/ML1610/ML16104A071.pdf

Table 3-1 Sources for the History of Defense-in-Depth for Reactors Sources (in Chronological Order)

・AEC letters・WASH-740・Joint Committee on Atomic Energy Hearings・Internal Study Group・Commission White Paper・ACRS letters・Joint ACNW/ACRS Subcommittee・10 CFR Part 50, Appendix R 1 The references for the various literature reviewed are provided in Sections 4, 5, 6, 7 and 8. 3-2 Sources (in Chronological Order)・AEC letter・ECCS Hearings・WASH-1250・NRC Annual report・NRC Reactor fact sheet・NUREG-0050・NUREG-0578・NUREG-0585・NUREG/CR-1250・Post TMI Definitions and Examples・NUREG-0880・Commission Policy Statements・NUREG/CR-6042・NUREG-1537・10 CFR Part 100・MIT Speech by Chairman Jackson・Some Thoughts on Defense-in-Depth by Tom Kress・PSA'99 paper・A Risk-Informed Defense-in-Depth Framework for Existing and Advanced Reactors, Karl Fleming, Fred Silady・NEI 02-02・Petition on Davis Besse・10 CFR §50.69・Remarks by Chairman Diaz・Digital Instrumentation and Controls (NUREG/CR-6303, RG 1.152, NUREG-0800 BTP HICB-19, NUREG0800 SRP BTP 7-19, DI&C-ISG-02)・NUREG-1860 [・INL NGNP report・RG 1.174 other

§2.4 国際原子力機関(IAEA)における深層防護

INSAG-10「原子力安全における多重防護」1996年。

日本語　http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1013e_web.pdf
原文　http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1013e_web.pdf}.

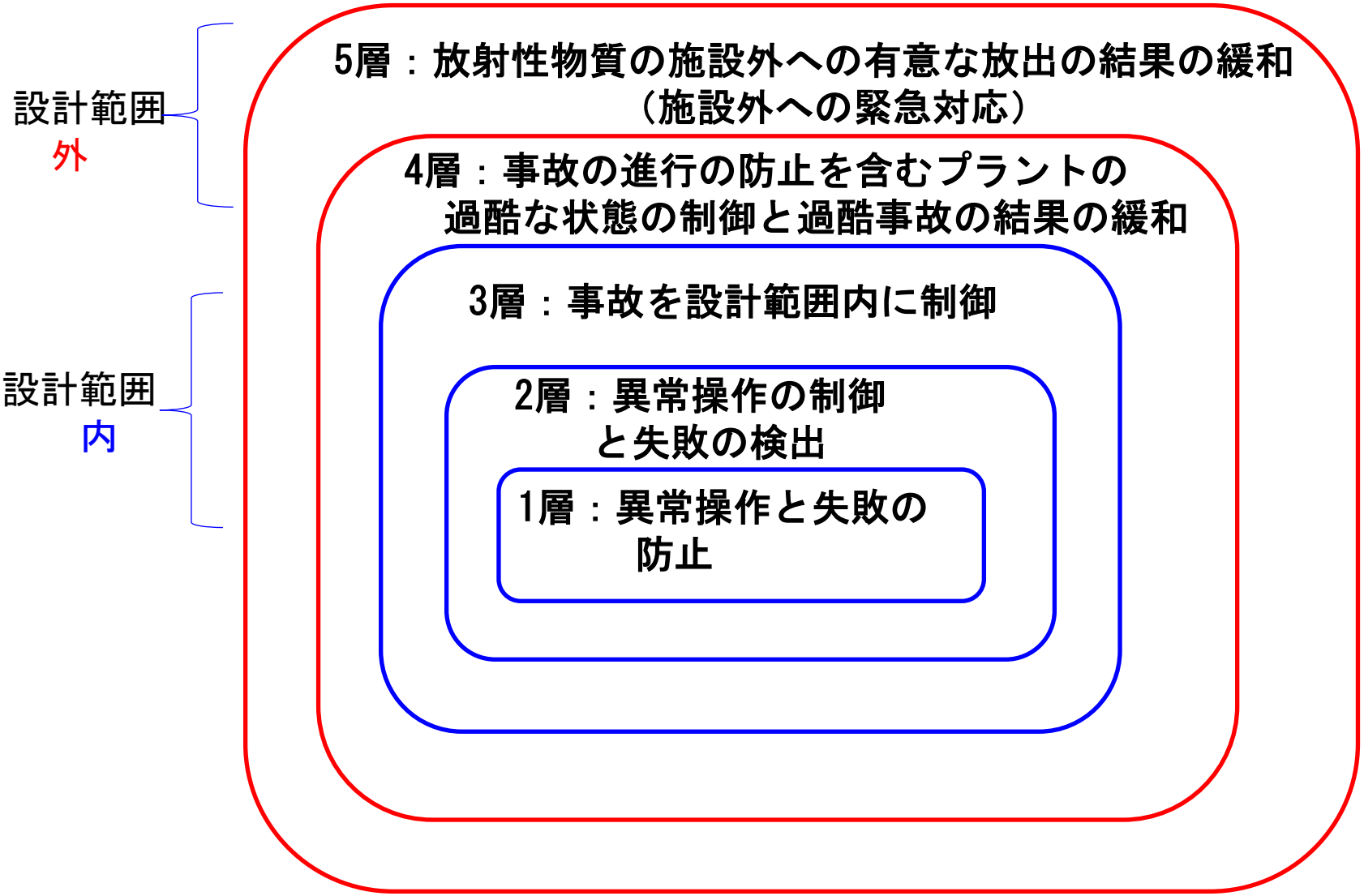
(日本では、defense in depthを多重防護と訳す人もあるが、深層防護が適切な訳であると引用者は考える。)

第4層の実質的無用論を示唆するなどの変質？

ＩＡＥＡが２０１６年に作成した「Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements No.SSR-2/1(Rev.1)（邦訳：原子力発電所の安全：設計）」で

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf

深層防護(IAEA)の目的、方法と手段



各層の独立性と全体としての統合性が重要(であったはず！）

§2.5 設計想定外の事故への対処の必要性
（深層防護における第4層、第5層を設定する意義）

N. N. タレブ「ブラック・スワン―不確実性とリスクの本質」
（上下、ダイヤモンド社）
「ブラック・スワン」：「滅多に出くわさない出来事」くらいの意味。巨大なインパクトがあり、きわめて稀だが、ひとたび起きるや「十分に予測できた」と感じてしまう事象。

下條信輔「想定外とブラック・スワン」
朝日新聞WEB論座2011年04月20日

樋口晴彦「悪魔は細部に宿る　危機管理の落とし穴」祥伝社新書、2015年。

Known unknownsとUnknown unknownsとは(20221118検索)
https://www.avocado-fes-thought.com/KnownUnknownUnknowns.html

“いつか”起こることは知っている、しかし“いつ”起こるのか、影響が“どの程度”なのか、そういったことを完璧に予測することが不可能なのがKnown unknowns(既知の無知)。
例：石油価格の変化や巨大地震。
Unknown unknowns(無知の無知）とはいままで起こったことがないような不確かなもの。
例：2001年のアメリカ同時多発テロ、2011年の福島原発事故。

複雑系における低頻度高影響事象，特に、その発生時期と影響の規模についての科学的な予測はほぼ不可能。

複雑技術システムの典型である原発には原子炉、格納容器、タービン建屋、使用済核燃料プール，各種の安全装置などの主要設備以外に、多数の配管，バルブ、モーター、外部電源、非常用電源など莫大な個数の施設と部品から構成されている。

　そのような複雑システムには構成要素間の無数の相互作用があるが、事故前には顕在化していなくても、事故の際に強い相互作用が顕在化することがありうる。

C. Perrow, *Normal Accidents*, Princeton University Press, 1999.

低頻度高影響事象の予測は工学的/技術的にも困難

・深層防護は、機器や人間の振る舞いにおける不確実さを考慮するた めの有効な手段であったし、今後もそうあり続けるであろう。

・特に、「未知の(unknown)」又は「想定外の(unforeseen)」損傷メカニズ ムや現象が起き得ることを考慮するためには有効である。

・何故なら、それらは「未知の」或 いは「想定されていない」もの なので、確率論的安全評価(PRA)その他の工学的 分析・解析では表現できないか らである。

平野雅司(原子力規制庁長官官房 総務課 国際室)、
「規制アプローチに関する国際動向：米国原子力エネルギー革新・近代化法を巡って」2020年9月10日
https://www.nra.go.jp/data/000328544.pdf

確率論的安全評価(PRA)の不確実さ (Uncertainties)

不確実さのタイプ
・ 三つのタイプの不確実さがPRAの結果に影響を及ぼす：①パラメー ター不確実さ、②モデル不確実さ、③完全さに関わる不確実さ
完全さに関わる不確実さ (Completeness uncertainty)

・「不完全さ」は「不確実さ」ではなく、考慮しているハザードの範囲（ 地震、津波、……）が全体のハザードをカバーしていない (scope limitation)ということにすぎない。

・結果的に、「真のリスクがどこに存在するか」に関する不確実さと なる (uncertainty about where the true risk lies) ⇒ ハザードの発生頻度の評価モデルがない、あるいは、大きな不 確実さを伴うような場合等
⇒「深層防護」に重点を置くべき。

平野雅司(原子力規制庁長官官房 総務課 国際室)、
「規制アプローチに関する国際動向：米国原子力エネルギー革新・近代化法を巡って」2020年9月10日
https://www.nra.go.jp/data/000328544.pdf

§2.6 めったに起こらないこと(低頻度)の含意
ー原発事故におけるべき乗則の可能性ー

低頻度高影響事象における経験則の集積

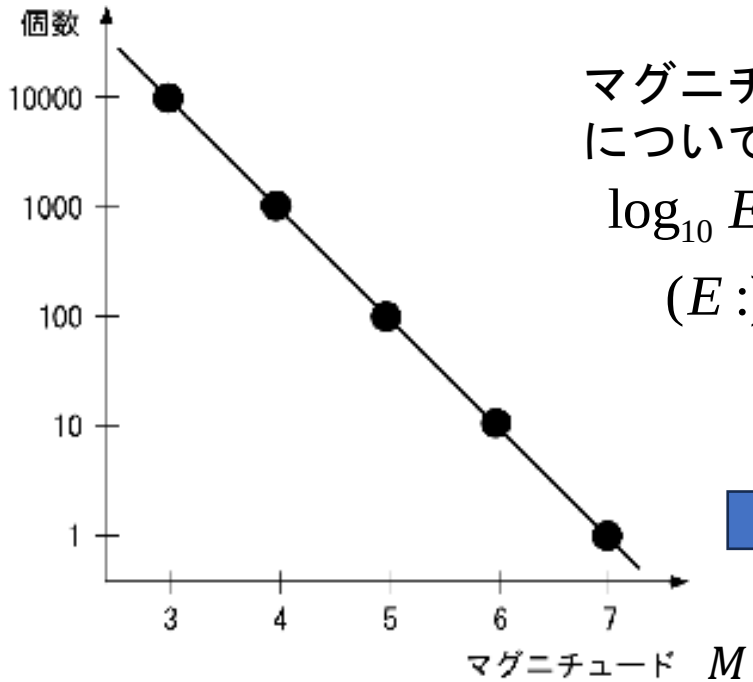
「従来はリスクについて考える際は、損害規模や発生確率は正規分布的に平均を考え、分散を考え、どの程度かと想定していました。しかし、地震や山火事や、株価の大暴落の災害や異常現象は、何らかの平均があり、それからの乖離を計る分散を見ることで予測できるものではないのではないか、という議論が出てきます。

その後の研究により、自然現象では地震の大きさと発生頻度、山火事の被害面積ごとの発生頻度など、経済現象では株価、為替などの市場価格の変動、社会現象では戦争の発生頻度と戦死者数などは正規分布とは明らかに異なる形、即ちベキ分布に従っていることが分かってきました。」2011年06月21日
https://www.newton-consulting.co.jp/bcmnavi/glossary/power_law_distribution.html

地震の規模と発生頻度についての経験則；グーテンベルク・リヒター則

マグニチュードMの地震の発生頻度P(M)

$\log_{10} P(M)$



https://th.bing.com/th/id/R.2d50cb53240cdee7fe83981a9b5fbe93?rik=TzddAM%2f60%2fMtJg&riu=http%3a%2f%2fseis.sci.u-ryukyu.ac.jp%2fhazard%2fhazard-eq%2fFig_GR1.gif&ehk=HKvDLnuVOY9csgmrPozaRHwYZdXlchdqIqVCSX56zkU%3d&risl=&pid=ImgRaw&r=0

坂口英雄・本庄春雄
「複雑系科学への招待」
サイエンス社、2018年。P.47.

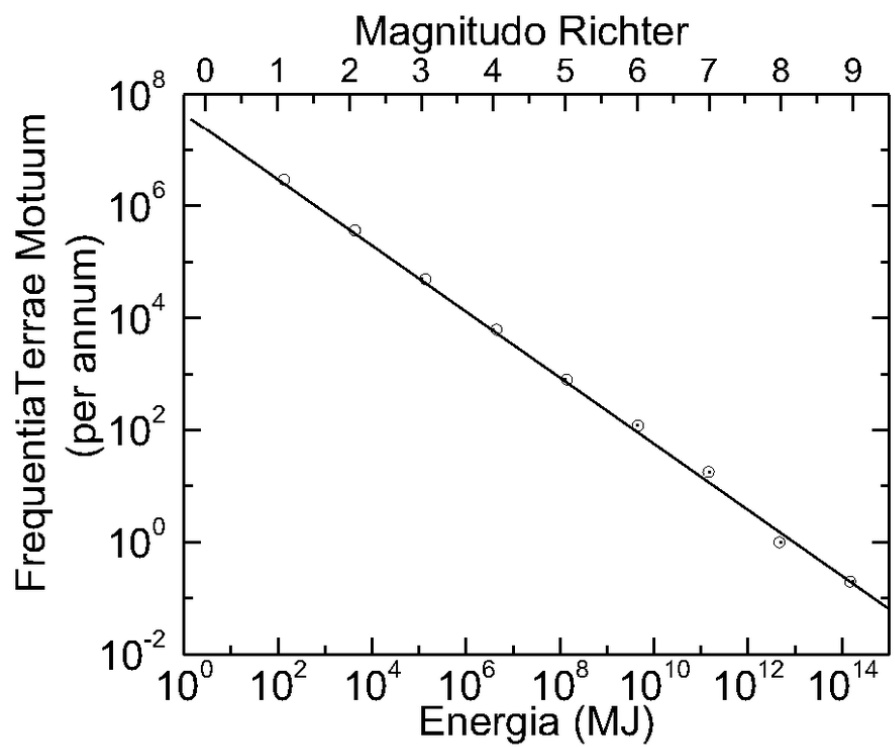
マグニチュード(M)とエネルギー(E)についての半経験則

$$\log_{10} E = 4.8 + 1.5M$$

$(E:)$

べき乗則

$$P(E) \propto E^{-\alpha}$$

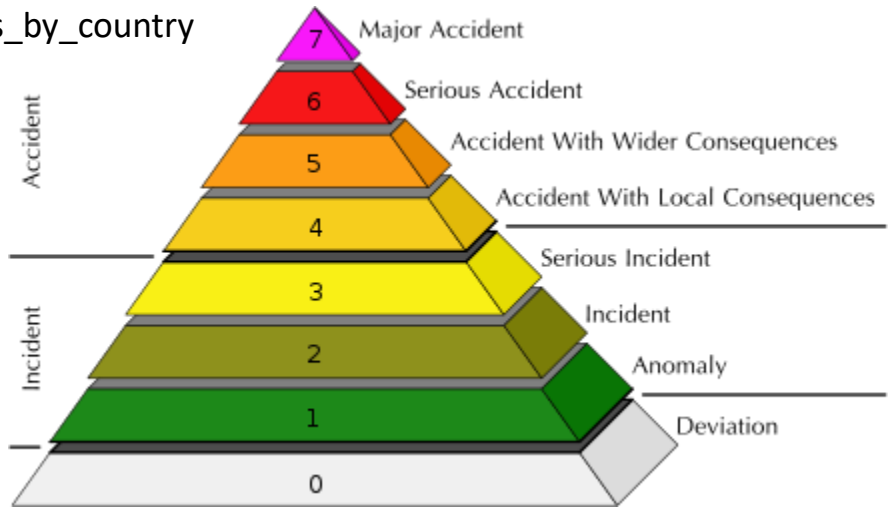


List of nuclear power accidents by country

From Wikipedia, the free encyclopedia
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_power_accidents_by_country

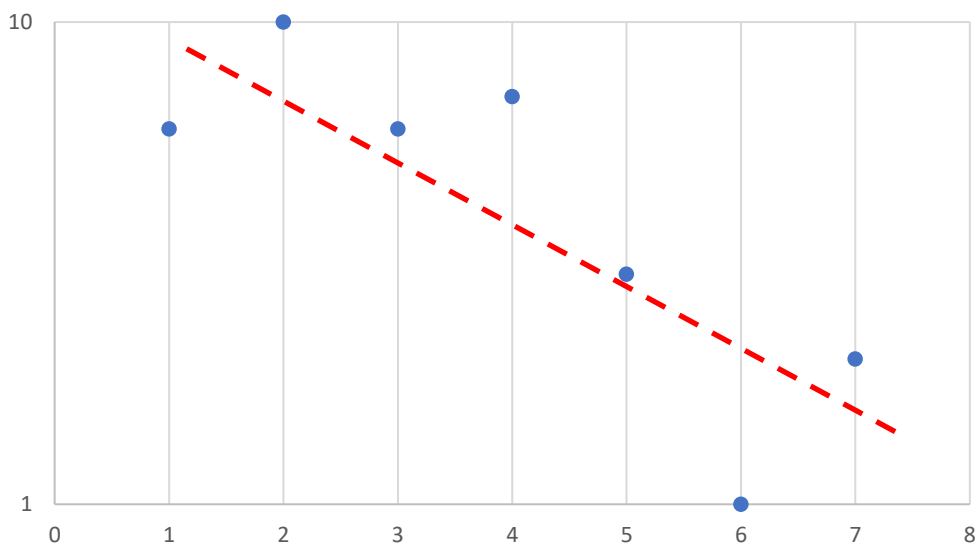
International Nuclear Event Scale

国際原子力(核)事象評価尺度
(INES)



INES-rating	incidents	
1	6	
2	10	
3	6	
4	7	
5	3	
6	1	
7	2	(福島原発事故2011を1とした場合)

事故頻度の対数　vs INES

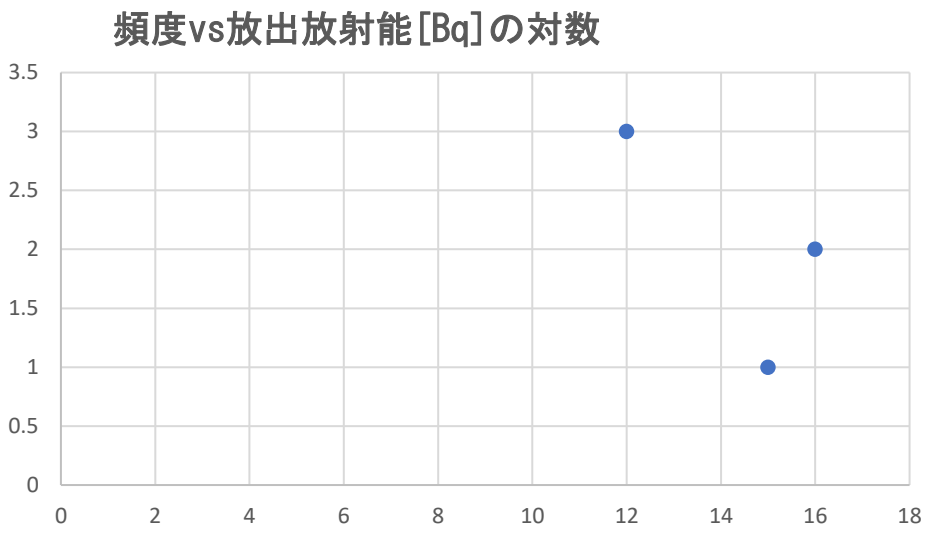


赤点線は傾向把握のための補助線

7 (深刻な事故)
ヨウ素131等価で数十ペタベクレル以上の放射性物質の外部放出

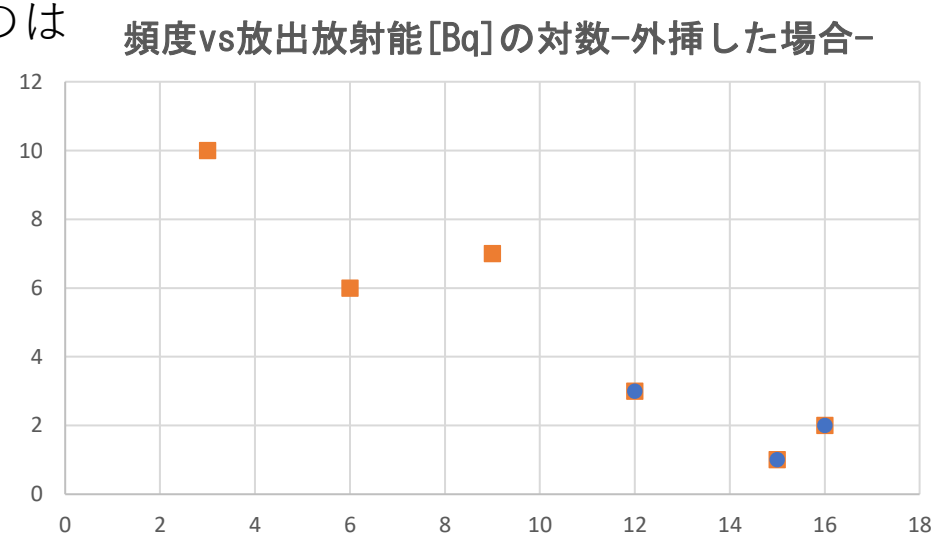
6 (大事故)
ヨウ素131等価で数ペタから数十ペタベクレル相当の放射性物質の外部放出

5 (事業所外へリスクを伴う事故)
ヨウ素131等価で数百テラから数ペタベクレル相当の放射性物質の外部放出



放射能についての定義があるのは
レベル5, 6, 7のみ

レベル4位以下の放射能放出量を仮に3桁ずつ減少させるという外挿を行うと



べき乗則が成立すると判断するにはデータ不足だが、その片鱗は見えていると解釈すべきか？ ←予防原則

§3 日本の新規制基準とその問題点

原子力規制委員会
「実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について」
平成２８年６月２９日策定
平成２８年８月２４日改訂
平成２９年１１月８日改訂
平成３０年１２月１９日改訂　415ページ
令和４年１２月１４日改訂　421ページ
https://www.nra.go.jp/data/000155788.pdf

→原発裁判における裁判官への指南文書(?!)

新規制基準では、 国際的に標準的な用語である
severe accidentを，過酷事故または苛酷事故とは表現せず、
重大事故またはシビアアクシデントと表現している。

←過酷または苛酷という表現が原発の潜在的危険性を
「過度に」印象づけることを忌避したのかもしれない。

§3.1原子力市民委員会による批判的分析

原子力市民委員会編、特別レポート5
『原発の安全基準はどうあるべきか』　2017年。

http://www.ccnejapan.com/CCNE_specialreport5.pdf

序章　原子力プラントの社会的不整合
第1章　再稼働を推進する新規制基準適合性審査
　1.5 水蒸気爆発と格納容器破壊の危険性..
第２章　新規制基準の不徹底.
第３章　新規制基準自体の欠落または不足な項目.
第４章　緊急時原子力防災...
第５章　規制組織の振る舞い..
第6章　原発に関わるリスク評価の虚妄

引用者のコメント：
　多くの批判的分析は有意義で妥当であると思われる。残念ながら、深層防護の観点に関わる考察は少ない。

脱原発弁護団全国連絡会
「新規制基準の考え方」検討報告書～原子力規制委員会の欺瞞～
２０１７年６月１日策定
http://www.datsugenpatsu.org/bengodan/wp-content/uploads/2017/07/%E8%80%83%E3%81%88%E6%96%B9%E7%B5%B1%E5%90%88%E7%89%88ver14_0619-%E8%A8%82%E6%AD%A3-1.pdf

§3.2深層防護第４層の実質的欠落

伊方原発運転差止めを求める訴訟はIAEAの深層防護第4層の欠落を厳しく追及している

　松山地方裁判所への伊方原発運転差止めを求める訴訟は、早くから佐藤暁氏の平成２６年６月２０日付けの意見書を提出しており、 準備書面（３２）、「佐藤意見書（甲１５７）に基づく主張」で四国電力の伊方３号炉の水蒸気爆発対策や水素爆発対策などの過酷事故対策の不備を厳しく追及しています。
　そして、準備書面（５４）でＩＡＥＡの深層防護第４層の欠落を厳しく追及しています。
http://www.ikata-tomeru.jp/wp-content/uploads/2012/01/jyunbishomn54.pdf
この準備書面は２０１５年１０月１５日のものですが、５ページから１４ページに『第2 深層防護との関連』として詳しく説明されています。

原子力規制委員会
「実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について」

平成３０年(2018年）
１２月１９日改訂？

第４の防護レベルは、第３の防護レベルでの対策が失敗した場合を想定し、事 故の拡大を防止し、重大事故の影響を緩和することを要求するものである。重大 事故等に対する安全上の目的は、時間的にも適用範囲においても限られた防護措

置のみで対処可能とするとともに、敷地外の汚染を回避又は最小化することであ る。また、早期の放射性物質の放出又は大量の放射性物質の放出を引き起こす事 故シーケンスの発生の可能性を十分に低くすることによって実質的に排除できる ことを要求するものである。

←根拠として引用

ＩＡＥＡが２０１６年に作成した「Safety of Nuclear Power Plants: Design, Specific Safety Requirements No.SSR-2/1(Rev.1)（邦訳：原子力発電所の安全：設計）」で

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf

p. 6；

(4) The purpose of the fourth level of defence is to mitigate the consequences of accidents that result from failure of the third level of defence in depth. This is achieved by preventing the progression of such accidents and mitigating the consequences of a severe accident. The safety objective in the case of a severe accident is that only protective actions that are limited in terms of lengths of time and areas of application would be necessary and that off-site contamination would be avoided or minimized. Event sequences that would lead to an early radioactive release or a large radioactive release3 are required to be 'practically eliminated'[4]

4 The possibility of certain conditions arising may be considered to have been 'practically eliminated' if it would be physically impossible for the conditions to arise or if these conditions could be considered with a high level of confidence to be extremely unlikely to arise

特定の状態が発生する可能性は、その状態が物理的に発生することが物理的に不可能である場合、またはこれらの状態が発生する可能性が非常に低いと高いレベルの信頼性を持って考慮できる場合に、「実質的に排除された」とみなされる場合があります。

←本文の表現と脚注の表現の差違、
IAEAの巧妙な弁解←既存原発の（再）稼働への配慮？
⇒深層防護思想の変質、新たな安全神話の進行？

日本の新規制基準とＩＡＥＡの深層防護第４層の過酷事故対策は何が違うか ２０１７年１月１０日 中西正之

170116sinsobogo.pdf (npg170116sinsobogo.pdf

ＩＡＥＡ安全基準邦訳データベース

No.NS-G-2.15 原子力発電所のシビアアクシデントマネージメント計画

1.I.原子力発電所の設計基準を超える事故について考慮することは、原子力安全を確保 するために用いられる深層防護の取組みにおいて不可欠な要素である。設計基準を超 える事故の発生確率は非常に低いが、そのような事故では、核燃料の劣化による重大 な影響をもたらす可能性がある。

No.SSR-2-1 原子力発電所の安全：設計
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10207746/www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000123919.pdf No.NS-G-1.10 原子力発電所の原子炉格納系の設計
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10207746/www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000126742.pdf

ＩＡＥＡの第４層対策は、メルトダウンを見逃した設計ミスが何かを明らかにした

日本の新規制基準には水蒸気爆発対策が無い

中西正之、2015年12月10日

日本の旧規制基準には、過酷事故対策は有りませんでしたが、福島第一原発の過酷事故を経験し、新規制基準では過酷は事故対策が策定されました。新規制基準の決定は、原子力規制委員会で行われていますが、実質的な審議は各専門の検討チームで行われています。そして、設計基準内対策と過酷事故対策は、「発電用軽水型原子炉の新規制基準に関する検討チーム」で行われています。
http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/shin_anzenkijyun/

検討委員の中には、越塚誠一委員のように、『・格納容器の破損については、現在までの工学的な知見からは、主要なシーケンスであってもきわめて不確かさが大きく、確定論的評価は難しい。たとえば溶融炉心コンクリート相互作用(MCCI)である。福島事故でも、炉心損傷時間は過酷事故解析コード間でおおよそ一致しているが、圧力容器破損や格納容器破損の時間と場所は、コードにより結果が異なるし、そもそも実際にどうであったのかも実況見分ができないため明確になっていない。一方、欧州のEPR や米国のAP1000 では、損傷炉心の冷却性を確定論的に担保するため、様々な試験研究を実施している。政府事故調最終報告では、絶対安全（いわゆる「安全神話」）が存在すると思い込むことで、シビアアクシデント対策がないがしろになったと評価している。今後についても、確定論的な評価に過度に依存すると、再び「絶対安全」に陥る恐れがある。』のような意見も出ていますが、全く切り捨てられています。
http://www.nsr.go.jp/data/000050291.pdf

［下線は引用者（R. O.）による］

§3.3 深層防護第5層の無視

１）米国では避難計画は重要な規制審査対象である。ニューヨーク州のショーラム原発のように、州知事が避難計画を不十分として承認せず、一度も稼働せずに廃炉となったケースもある。

２）日本では避難計画は制審査対象外であり、原発立地自治体が策定することになっていることは極めて不当である。
地方自治体がその地域内に起こる自然災害に対して避難計画等を策定することは基本的に妥当であるが、原発事故は自然災害ではなく、その責任は電気事業者にあることは自明である。チェルノブイリ原発事故、福島原発事故がそうであったように、事故の影響が一つの地方自治体内に限定されるとは限らない。

３）しかし、最近、東海第二差し止め判決(20210318)において、深層防護の第5層(避難計画)が規制審査対象になっていないことが主な理由になった！

「深層防護」控訴審でも採用を　東海第二差し止め判決　18日で1年
2022年3月7日、https://www.tokyo-np.co.jp/article/164134

「実効性ある避難計画を再稼働の要件とせよ」という見解も説得力がある。
https://toyokeizai.net/articles/-/44822

§4 深層防護の拡張–第5層の修正または第6層追加ー

深層防護の概念の拡張
福島第一原子力発電所の周辺地域では，現存被ばくの 影響の重大性に関わる議論や，地震・津波被災地域にお ける除染など複合災害からの復旧・復興が議論されてい る。つまり，原子力発電所の安全概念として，上述した 深層防護の考え方に留まらない，より広い安全の概念が 現実に求められている。人と環境を護るという原子力安 全本来の目標にてらせば，深層防護とは，本来，復旧・ 復興まで含んだ幅広い概念であることが再認識されるべ きであり，また，このような観点から福島第一原子力発 電所事故に関する知見を体系化し，広く発信することも 必要であることが，議論された

糸井達哉，中村秀夫，中西宣博
「多様な誘因事象に対する原子力安全の確保 (その 2) 外的事象対策の原則と具体化」
日本原子力学会誌，Vol.58，No.5 (2016),318-323
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/58/5/58_318/_pdf

佐藤　暁
「原子力発電所の安全審査と再稼働<12>原子炉事故は，どのように地域社会と人を死に至らしめるのか？——深層防護の最外層のさらに外側で起こる複雑な問題」
「科学」2015年9月号(Vol.85 No.9)、855.

・保険による補償という深層防護

「(中略）始まりは、やはりアメリカである。1953年アイゼンハワーによる「原子力の平和利用」宣言の後、アメリカでは原子力開発への民間企業の参入を促進すべく、原子力法を可決した。しかし、民間企業は原子力の持つ危険性を恐れ、尻込みするばかり。その上保険会社も保険の引き受けを拒否する始末。原子力の危険性、その被害の甚大さを一番認識していたのが保険会社と言うべきか。そこで困り果てた政府が、保険会社に無理やり保険を引き受けさせるために作った法律が、プライス＝アンダーソン法である（1956年）。これは、原子力災害に対し、5億6000万ﾄﾞﾙ（当時のレートで2000億円余り）を上限として保障する、その内6000万ﾄﾞﾙ（216億円）を民間の保険で、5億円（1800億円）を政府が補償しましょうというもの。この民間の6000万ﾄﾞﾙも、保険会社の連合組織が原子力保険プールとしてやっと掻き集めたのがこれだけだったからに過ぎない。つまり、これ以上の保障は不可能と拒否したのである。
ところが一方、当時の政府機関が算定した原子力災害の被害予想額は、なんと70億ﾄﾞﾙであった。70億ﾄﾞﾙの被害に対する補償が、その１０分の一にも満たない5億6000万ﾄﾞﾙという不可思議。十分な保険もないまま、原子力開発は強行されてきたのである。そしてこの状況は、今も変わらない。」

http://trust.watsystems.net/matuo/matuo9.html

本間照光「保険の社会学―医療・くらし・原発・戦争」（勁草書房,1992年）

本間 照光 名誉教授 （2012年，インタビュー）
保険から見る原発問題
https://research.a01.aoyama.ac.jp/blog/insights/column_hida-3-4-2/

賠償制度から見た原発の異質性（本間照光「原賠制度から見た核のごみ問題-投げ棄てられるリスクとコスト、責任」『科学』2020年11月号、90巻11号、pp.53-59、https://www.iwanami.co.jp/kagaku/eKagaku_202011_Honma.pdf）

原子力発電は，今だけ，わずか数十年の電力を取り出すために，手に負えない事故と核のごみをもたらす。そのリスクとコストを業界の外に押し出すとともに，問題を先送りさせてきた。それを映し出しているのが原子力損害賠償制度（原賠制度）である。原賠制度ができた1961 年の前年，制度をつくるにあたって事故被害を試算したところ，3 兆7000 億円に上った。これは，当時の国家予算の2 倍以上である。それにもかかわらず，これを隠して原賠制度がつくられ，賠償措置額を50 億円（現在1200 億円）とした。740 分の1 の小ささである。

原発事故費、想定検証促す　既に半分超１２兆円支出　廃炉費さらに膨らむ恐れ　検査院（朝日新聞デジタル、2022年11月8日）

個人、企業など社会には多種の保険が利用されている。これらも深層防護思想における未来の事故の影響緩和と解釈できる。

仮に、第5層の避難ができたとしても、その後の社会インフラや生活の補償措置は必要不可欠⇒第6層が必要！

§5 議論

20220926；NHK「岐路にたつ原子力規制」
https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2022/09/story/nuclear_20220926/

(第4層に対して、または拡張されるべき第4層に対して？)
・フランスの原発の過酷事故に対する「突撃部隊」相当の措置の
　必要性？
・サイバー攻撃に対する深層防護
・戦時における正規軍による攻撃に対する深層防護

・戦時における正規軍による攻撃に対する深層防護

「(中略）被告の上記主張は，第３層の事故がシビアアクシデント(過酷事故)に必ず先行して発生するかのような誤解を与える主張であるが，シビアアクシデント，とりわけ地震，津波，飛行機の衝突，テロ，軍事攻撃といった外部事象に基づくシビアアクシデントが，第３層の事故とは無関係に発生することを無視した誤った主張に過ぎない。(中略)」

伊方原発運転差止めを求める訴訟, 準備書面(54), p. 13

{赤文字、下線は引用者(R.O.)}

http://www.ikata-tomeru.jp/wp-content/uploads/2012/01/jyunbishomn54.pdf

脱原発弁護団全国連絡会

「ミサイル攻撃の恐れに対し原発の運転停止を求める声明」2017年5月2日

www.datsugenpatsu.org/bengodan/wp-content/uploads/2017/05/20170502%E5%A3%B0%E6%98%8EFin.pdf

核兵器専門家が試算！　原発が北朝鮮の核攻撃を受けたら、どれほどの放射性物質が拡散するのか？

飯塚真紀子(在米ジャーナリスト), 2017年12月6日。

https://news.yahoo.co.jp/byline/iizukamakiko/20171206-00078947

NHK「もし原発が攻撃されたら，日本は？世界は？」(2022.6.16)

https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2022/06/story/nuclear_220616/

原子力市民委員会編、特別レポート5『原発の安全基準はどうあるべきか』のp.52；http://www.ccnejapan.com/CCNE_specialreport5.pdf

2.2.7 戦争における攻撃

2015 年9 月19 日未明、参議院本会議で、いわゆる安全保障関連法案が可決されたことによって、集団的自衛権の行使が容認されるようになった。もし、日本への国家的な軍事攻撃が仕掛けられるとすれば、もっとも標的になりやすいのは原子力施設である。航空機による爆撃、艦船からのミサイル攻撃など、今日の軍事技術は大規模の破壊力を持っており、いかなる施設もそれらに耐えることはできない。その事実を直視して、原子炉施設の存否を再検討しなければならない。

仮に、戦争が勃発して交戦状態になり、原発が正規の軍隊による攻撃を受けたらどうか。いうまでもなく、原発は大破して、福島原発事故の何倍もの放射能を放出し、この国土全体に拡散することは火を見るより明らかである。しかしどの国であろうと、ミサイルなどを擁した正規軍の攻撃に耐えられるような原発はありえない。

2017 年4 月21 日、政府は「弾道ミサイル落下時の行動について」を公表し、国民に対して、「屋外にいる場合は、できる限り頑丈な建物や地下街に避難すること」などを呼びかけた。同4 月29 日の北朝鮮によるミサイル発射の直後、東京メトロ、東武線、北陸新幹線は、いずれも約10 分間、安全のため、運転を見合わせた。稼働中の原発の原子炉や核燃料プールにミサイルが着弾したら、メルトダウンや大規模な放射能の放出が発生する可能性がある。脱原発弁護団全国連絡会は、ミサイル着弾の恐れがなくなるまで原発を停止することを求める声明を発したが、その提言内容は至当である98。

一方、ウクライナで起きたような武力攻撃は、テロの範囲を超え「防衛」の問題となるため、原子力の安全規制では対応できないというのが国の立場です。

もし原発が攻撃されたら・・・日本は？世界は？
サイカル(science & culture) journal by NHK,2022.6.22
https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2022/06/story/nuclear_220616/

軍事的衝突中の原発プラントの脆弱性

ーザポリージャ原発に焦点を当てた福島第一原発事故の教訓ー

Greenpeace International2 March 2022

https://reliefweb.int/report/ukraine/nuclear-power-plant-vulnerability-during-military-conflict-ukraine-technical-briefing

Current status of nuclear power plant operation in Ukraine

Zaporizhzhia

1. Emergency diesel generators

2. The vulnerability of spent nuclear fuel

2.1. Status of spent fuel at the Zaporizhzhia plant

2.2. The case of Fukushima Daiichi 4 spent fuel pool following the 11 March 2011earthquake

2.3. Consequences of a large-scale release from a spent fuel pool

2.4. Significance for Zaporizhzhia

3. Flood risk and dam breach

謝辞：

中西正之氏へ；
深層防護第4層の技術的分析と、原子力市民委員会編、特別レポート5『原発の安全基準はどうあるべきか』2017年を教示してもらったこと、原発事故におけるべき乗則の重要性についての意見交換に対して。

本庄春雄氏へ：
地震についてのグーテンベルク/リヒター則など、べき乗則の意味についての教示と意見交換に対して。

本間照光氏（青山学院大名誉教授）へ：
保険論の立場から原発のリスクの研究などの経過紹介と意見交換に対して。

付録：べき乗則分布（べき分布）について

べき分布の確率密度関数:

$$f(x)=\frac{ab^a}{x^{a+1}},\ (x\geq b, a>0, b>0;\text{定数})$$

←19世紀、イタリアの経済学者ヴィルフレド・パレート

梅野善雄
「ベキ分布」の特徴と数理
2020年3月
日本数学教育学会高専・大学部会論文誌 Vol.26 No.1 March 2020,pp.73-90
/https://yunavi.lsv.jp/ronkou/powerlaw_20200315.pdf

→変数がxと$x+dx$の間にある確率は

$$f(x)dx$$

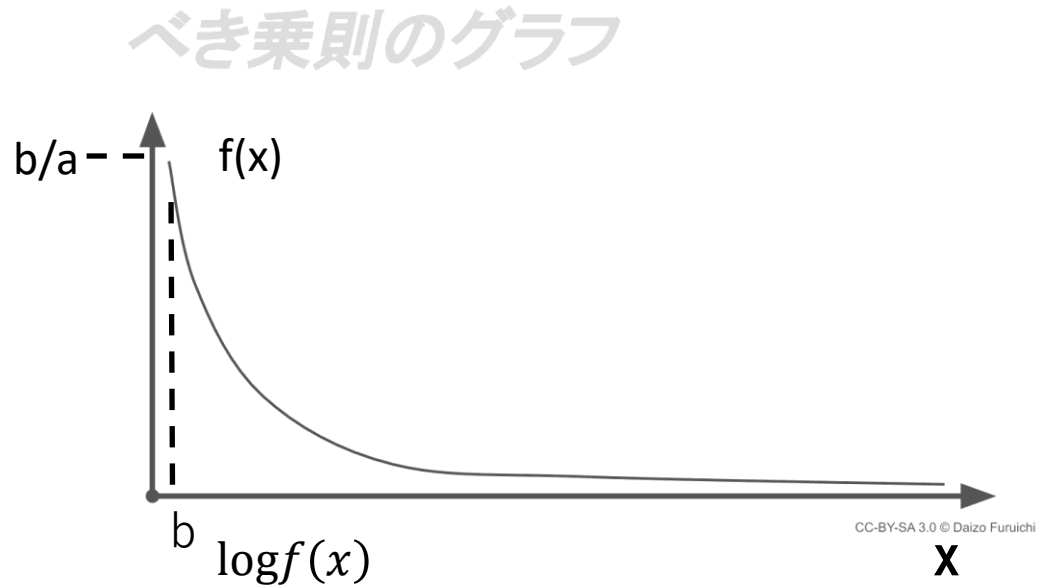
に比例する。

確率であるために必要な規格性：

$$\int_b^\infty f(x)dx=\int_b^\infty \frac{ab^a}{x^{a+1}}dx$$

$$=\left[\frac{ab^a}{(-a)}x^{-a}\right]_b^\infty$$

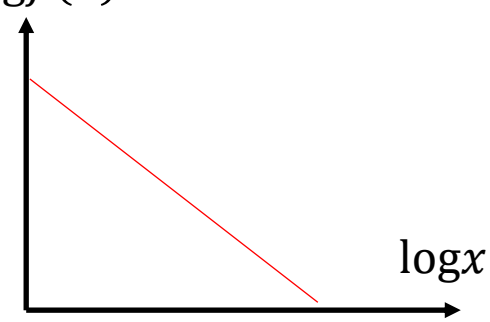
$$=\frac{ab^a}{a}b^{-a}=1$$



$f(x)=ab^a x^{-a-1}$の両辺の対数（常用対数)を取ると

$$\log f(x)=\log(ab^a)-(a+1)\log x.$$

両対数のグラフ、すなわち、$\log f(x)$を縦軸に、
$\log x$を横軸に取ると右下がりの直線になり、
べき指数が傾きを表す。



xの期待値(平均値)：

$$< x > \equiv \int_b^\infty x \cdot f(x) dx$$

$$= \left[\frac{ab^a}{(1-a)} x^{-a+1} \right]_b^\infty$$

$$= \frac{ab}{(a-1)}, (a > 1 \text{のとき})$$

x^2の期待値(平均値)：

$$< x^2 > \equiv \int_b^\infty x^2 \cdot f(x) dx$$

$$= \left[\frac{ab^a}{(2-a)} x^{-a+2} \right]_b^\infty$$

$$= \frac{ab^2}{(a-2)}, (a > 2 \text{のとき})$$

xの分散Δx:

$$(\Delta x)^2 \equiv < x^2 > -(< x >)^2$$

$$= \frac{ab^2}{(a-1)^2 (a-2)}.$$

これらの計算結果より、aの値が1と等しいか小さいときには平均値が、aの値が2と等しいか小さいときには分散が、いずれも広義積分が収束しないので、存在しないことが分かる。

付録：グーテンベルク・リヒター則をべき乗則型に書き直せること

$$\log_{10} P(M) = -bM + C$$

$\log_{10} E = 1.5M + A$ (半経験則), Eの単位はジュール(J), A=4.8

$$\rightarrow M = \frac{\log_{10} E - A}{1.5};\left(\log_{10} E = \frac{\log_e E}{\log_e 10}\right) \rightarrow \frac{dM}{dE} = \frac{2}{3\log_e 10 E}$$

最初の式に代入して

$$\log_{10} P(M) = \beta - \gamma \log_{10} E$$

ここで次の定数β, γを導入した：

$$\beta \equiv \frac{bA}{1.5}C, \gamma \equiv \frac{2b}{3\log_e 10}$$

すると

$$P(M) = 10^{\beta} \cdot E^{-\gamma}$$

が得られる。地震のエネルギーEに対する発生頻度$P(E)$は、

Mと$M + dM$の間、Eと$E + dE$の間にある、それぞれの発生確率が等しいと考えて

$$P(M)dM = P(E)dE$$

$$\rightarrow P(E) = P(M)\frac{dM}{dE}$$

$$\therefore P(E) = \left(\frac{2 \times 10^{\beta}}{3\log_e 10}\right)E^{-\alpha}, \left(\alpha \equiv \frac{2}{3}b + 1\right)$$

参考：坂口英雄・本庄春雄「複雑系科学への招待」サイエンス社、2018年,pp.46-47

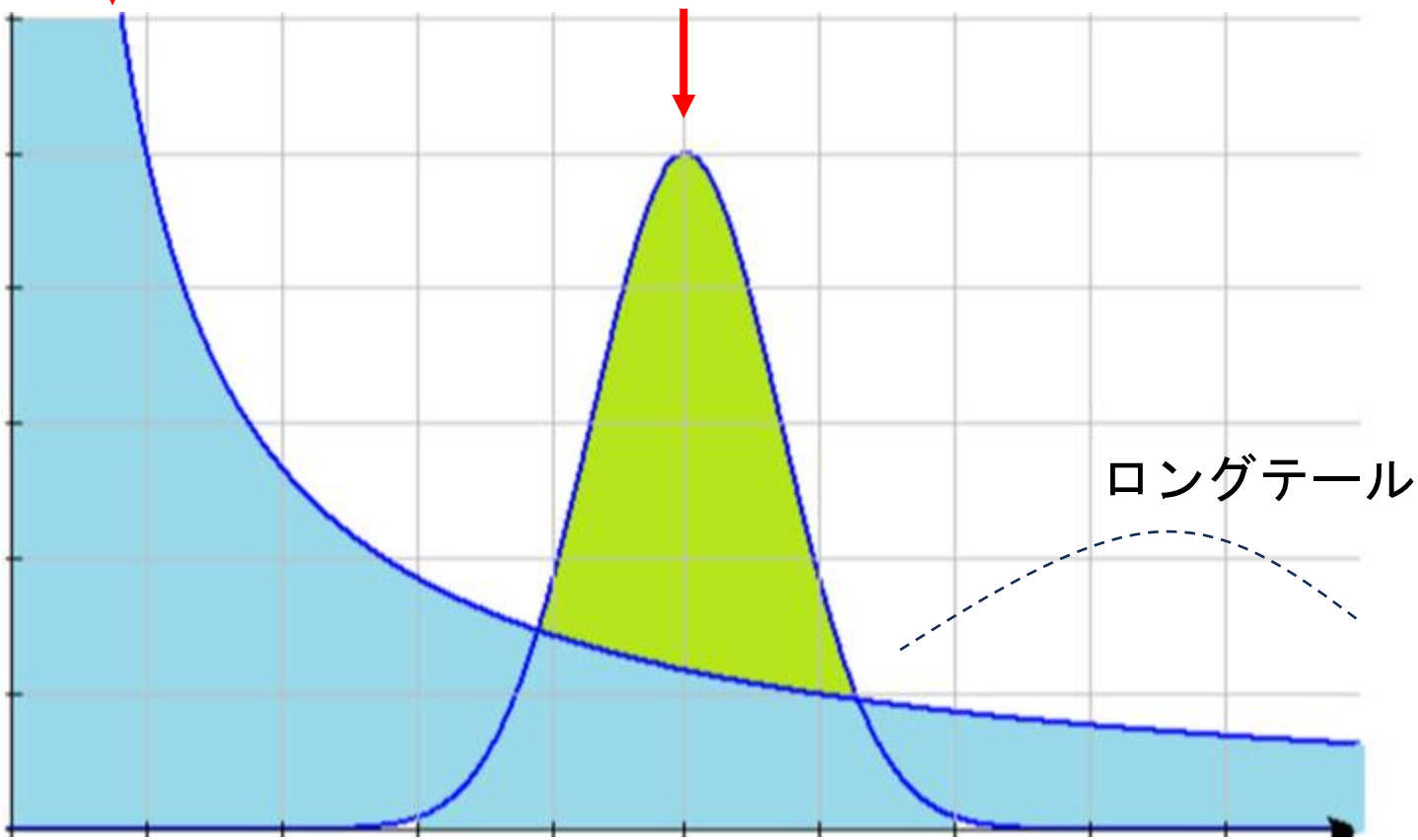
確かに、発生頻度¥tilde{*P*}(*E*)がEのべき乗関数になっている！

$$f(x) = \exp[-a(x - x_0)^2] = e^{-a(x-x_0)^2}$$

べき乗分布

$f(x) = x^{-\alpha}$

正規分布
（ガウス分布）



https://assets.st-note.com/production/uploads/images/27093362/rectangle_large_type_2_b2ff8b3caf5b162c6ef02c121abbaa63.png?width=800

参考：複雑系における「べき乗則」の深遠な重要性

マーク・ブキャナン
「歴史は『べき乗則』で動く―種の絶滅から戦争までを読み解く複雑系科学」
ハヤカワ文庫、2009年。

目次

なぜ世界は予期せぬ大激変に見舞われるのか
地震には「前兆」も「周期」もない
地震の規模と頻度の驚くべき関係―べき乗則の発見
べき乗則は自然界にあまねく宿る
最初の地滑りが運命の分かれ道―地震と臨界状態
世界は見た目よりも単純で、細部は重要ではない
防火対策を講じるほど山火事は大きくなる
大量絶滅は特別な出来事ではない
臨界状態へと自己組織化する生物ネットワーク
なぜ金融市場は暴落するのか―人間社会もべき乗則に従う
では、個人の自由意志はどうなるのか
科学は地続きに「進歩」するのではない
「学説ネットワークの雪崩」としての科学革命
「クレオパトラの鼻」が歴史を変えるのか
歴史物理学の可能性

「ベキ分布」：関連リンク集
https://yunavi.lsv.jp/powerlaw.html