



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Dangerous Lunar Phases in which Giant Earthquakes Concentrate for Each Subduction Zone Revisited
Author(s)	Fujii, Yoshiaki; Tsuboi, Yusuke; Fukuda, Daisuke et al.
Description	Spring Meeting of MMIJ 2016, Mar. 28-30 2016, Tokyo, Japan (資源・素材学会平成28年度春季大会、2016年3月28日(月)～30日(水)、東京大学本郷キャンパス、東京)
Citation	Spring Meeting of MMIJ, 2016, 1512
Issue Date	2016-03-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64889
Type	conference paper
File Information	MMIJ2016.1512.pdf



1. はじめに

多数の地震について各事象の断層とずれの方向に基づき、潮汐力の作用を求め、統計的に解析することによって、満潮と干潮をもたらす約12時間周期の潮汐力と地震の発生との間に弱い相関が認められている(たとえば、Nakata et al., 2008, Cochran et al., 2012 など)。潮汐力の振幅は、月・太陽・地球が略一直線になる大潮(新月・満月)において、大きくなり、小潮(半月)において最小となるので、直感的には巨大地震($M_w \geq 8$)は大潮の周辺で起きるのではないかと予想される。

しかしながら、1900年から現在までに発生した巨大地震の生じた月齢を各沈み込み帯毎に調査した研究(Fujii & Ozaki, 2012, Ozaki & Fujii, 2012)では、巨大地震の集中する月齢は必ずしも大潮の周辺ではなかった。そのメカニズムについてはFujii et al. (2013)で検討し、統計的な検討はFujii et al. (2015)で示したが、これら一連の研究では、事象の選び方や巨大地震の集中する月齢範囲の決定方法にやや客観性に欠けるところがあったので、ここでは、事象を地図上にプロットして各沈み込み帯毎に選択するところからやり直し、巨大地震の集中する月齢範囲を客観的に決定することを試みた。また、次の巨大地震が発生する月齢の推定も試みた。ペルーについては、分析に用いるマグニチュードの下限に関する考察も試みた。

2. 統計的検討の方法

巨大地震の発生がランダム過程の場合、 n 事象中 m 事象以上がある月齢範囲 w に生じる確率 p は、

$$p = \sum_{j=m}^n \{h^j (1-h)^{n-j} \times {}_n C_j\} \quad (1)$$

となる。ここで、 n は $n-i$ 、 m は $m-i$ 、 h はある事象が巨大地震の集中する月齢範囲に生じる確率($w/29.53$)、 ${}_n C_j$ は n 事象から j 事象を選択するときの組み合わせ数、 i は巨大地震の集中する月齢範囲の数である。

自由度を i 減じているのは、月齢範囲を任意に選んでいるからである。たとえば、サイコロを3回振った時に6が2回以上続けて出る確率について考えてみる。サイコロのある目が出る確率 h は $1/6$ であり、サイコロの6が2回続けて出る確率は明らかに $(1/6)^2$ である。もう1回が6でないならばその確率は $5/6$ であり、6が2回出るのは ${}_3 C_2$ 通りある。6が3回続けて出る確率は明らかに $(1/6)^3$ である。したがって、結局求める確率は、(1)式において、 $n=3$ 、 $m=2$ とした、 $(1/6)^2 \times (5/6) + (1/6)^3 \times 1 \times 1 = 16/216 = 7.41$ (%)である。6と限らずに、ある目が2回以上出る確率とすれば、1回目はどの目が出てよいのだから、2回目でその目が出て3回目出ない、2回目出なくて3回目出る、2回目も3回目も出る、以上の確率を加えればよく、結局、自由度を1減じた $n=2$ 、 $m=1$ を(1)式に代入した、 $(1/6) \times (5/6) \times 2 + (1/6)^2 \times 1 \times 1 = 11/36 = 30.6$ (%)と等しくなる。

p がある閾値を超えた場合には、巨大地震がある月齢範囲に集中しているように見えるのは偶然であると解釈される。一方、 p がある閾値以下であれば、巨大地震の発生がランダム過程であるという帰無仮説が棄却され、巨大地震の発生が設定した月齢範囲に集中していることが危険率 p で統計的に有意となる。閾値は通常 5%が採用されるので、本研究でもこの値を採用した。危険率 5%で棄却とは、簡単に言うと、ランダム過程であれば、平均値 $\pm$ 標準偏差の2倍以上を超えるくらい起こりにくいので、ランダム過程とは考えづらい、ということである。先ほどのサイコロの例で言うと、どの目でもいいから3回振って3回続けて同じ目が出る確率が $1/36 = 2.8$ (%)であり、この場合には、統計的には危険率 2.8%でランダム過程ではないといえることになる。

3. ペルーの例

ペルーの巨大地震を例にとりて、巨大地震の集中する月齢範囲の決定方法について説明する。まず、アメリカ地質調査所の世界の地震のデータベース(Search Earthquakes Arcives, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>)を用いて1900年~2015年に発生したマグニチュード 8.0 以上の巨大地震の全てを世界地図上に表す(図1)。巨大地震に時系列順に番号をつけ、次に、ペルー周辺を拡大表示する(図2)。

ペルーで発生した巨大地震全てについて縦軸をマグニチュード、横軸を大潮からの遅れにとりてプロットすると図2bのようになる。ここで、横軸を大潮からの遅れとするのは、大潮からの遅れが同じであれば、月からと太陽からの地球上における潮汐力の干渉は同じであり、また、今までの研究により、横軸を月齢とするよりも、巨大地震の集中傾向がより顕著になることがわかっているからである。なお、地震発生時刻の月齢は月齢カレンダー(<http://koyomi8.com/moonage.htm>)で求め、月齢が 14.765~29.53 日の場合には 14.765 日を減じて大潮からの遅れとした。大潮からの遅れが大きい場合には、臨機応変に他の事象との関連を見てさらに 14.765 日を減じ、大潮からの遅れを負とした。以下では簡単のため、「大潮からの遅れ」を簡単に「月齢」、「巨大地震が集中する大潮からの遅れの範囲」の事を簡単に「危険な月齢」と呼ぶことがある。

図2bでは、月齢 2~4 日に巨大地震が集中しているようにみえる。そこで、まず、全ての事象で p を求めると危険な月齢-1.91~3.71 日で 2.08%となる。右端の事象 56 を除けば -1.91~2.99 日で 10.91%、逆に左端の事象 31 を除けば 2.36~3.71 日で 0.283%となる。そこで、左端の事象を除いて検討を続ける。

再び一番左の事象 29 も除けば 2.42～3.71 日で 4.05%、一番右の事象 56 を除けば 2.36～2.99 日で 1.026%となる。何も除かない場合が一番危険率が小さくなったので、そのときの 2.36～3.71 日を危険な月齢とする。

次の巨大地震が生じる月齢範囲の予測は次のように行った。図 2b では、5 事象中 4 事象が危険な月齢範囲に生じ、危険率は 0.283%である。(1)式から、6 事象中 5 事象が生じたときに危険率がちょうど 5%になる月齢範囲を求めると 5.07 日となる。これを、危険な月齢の終端から減じたものを、次の巨大地震の生じ得る月齢の始端、危険な月齢の始端に加えたものを、次の巨大地震の生じる月齢の終端とした。ペルーの場合は-1.36～7.43 日となった(図 2b)。

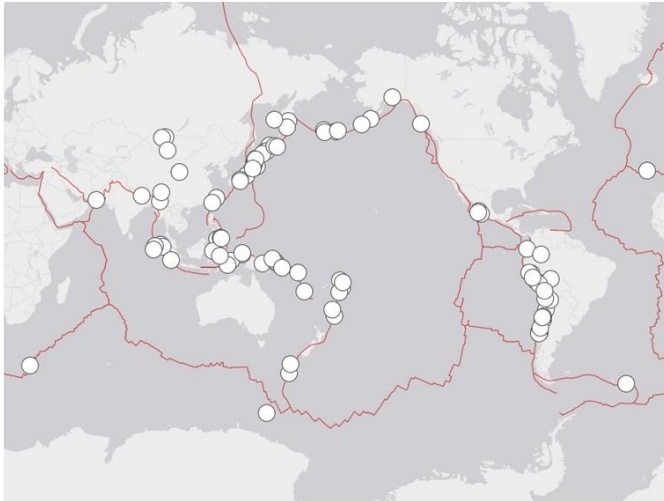


図1 1900年～2015年に生じた全ての巨大地震(Search Earthquake Archives, USGS Web Siteを用いて作成)。赤線は主要なプレート境界を示す。

4. その他の地域

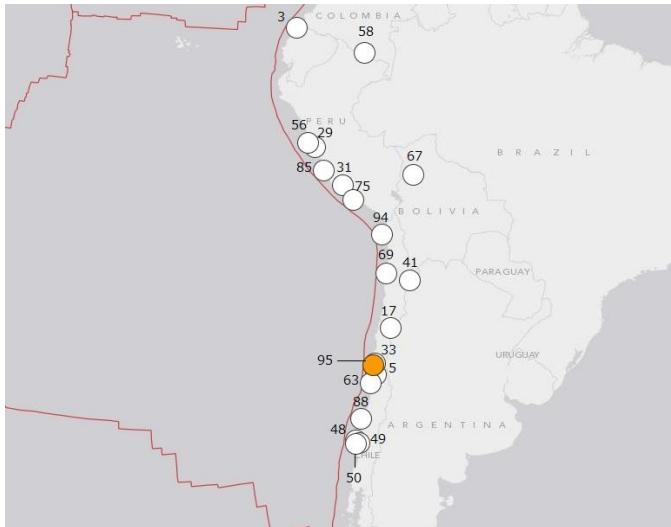
同様な分析を、チリ南部、アラスカ、スマトラ、モンゴル、日本海溝、クリル、サモア・トンガについて行った。

チリについては、当初チリの全ての巨大地震を対象としたが、特定の月齢範囲への地震の集中がみられなかったため、南部の地震に限って分析を行い、図 2c の結果を得た。アラスカは大潮の約 1 日前に 4 つの巨大地震が集中している(図 3b)。スマトラは危険率 2.53%で危険な月齢が決定できた(図 4b)。危険な月齢範囲を 2 つに分ける(図 4c)と危険な月齢の決定における危険率は 1.17%と低下したが、次の巨大地震はいつでも起こり得ることになってしまった。どちらを用いるべきかは検討する必要がある。沈み込み帯ではないが、モンゴルとその周辺については、小潮周辺に明らかな集中がみられた(図 4d)。クリルでは、集中は明らかに 2 つの範囲にみられ(図 5b)、次の巨大地震はいつでも起こりうることになってしまった。日本海溝では小潮周辺に集中がみられた(図 5c)。サモア・トンガはクリルと同様である(図 6b)。

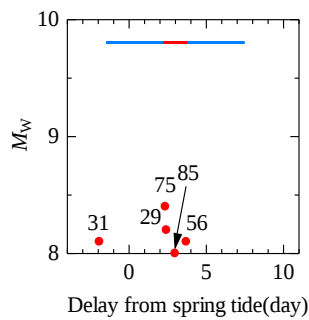
危険な月齢、次の巨大地震が生じ得る月齢をまとめて表 1、図 7 に示す。巨大地震の集中する月齢範囲は大潮周辺とは限らず、また、ペルーとチリ南部、クリル周辺と日本海溝など地図上では近い地域であっても差異がみられる。これは緯度、経度、海底地形、プレート境界の方位、沈み込み角度等により、巨大地震のトリガーとしての潮汐力の作用が異なるためと考えられる。

表 1 分析結果の一覧

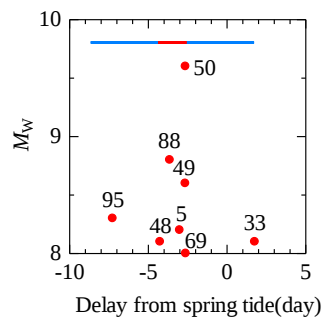
地域名	巨大地震の集中する月齢範囲(日)	p (%)	次の巨大地震が起こり得る月齢範囲(日)
ペルー沿岸	+ 2.36 ~ + 3.71	0.283	- 1.36 ~ + 7.43
チリ南部	- 4.25 ~ - 2.62	0.0281	- 8.54 ~ - 1.67
アラスカ	- 0.88 ~ - 0.72	0.1703	- 2.62 ~ + 1.02
スマトラ	- 0.82 ~ + 5.08 - 0.82 ~ + 0.97, + 3.51 ~ + 5.08	2.53 1.170	- 3.05 ~ + 7.31 いつでも発生しうる
モンゴル	+ 5.65 ~ + 6.70	1.439	+ 3.02 ~ + 9.33
クリル周辺	-0.77 ~ + 2.80, + 8.82 ~ + 10.56	0.0765	いつでも発生しうる
日本海溝	+ 3.67 ~ + 8.15	1.140	+ 1.06 ~ + 10.76
サモア・トンガ	- 1.67 ~ + 0.10, + 5.84 ~ + 6.74	2.03	いつでも発生しうる



(a)巨大地震の分布



(b)ペルー

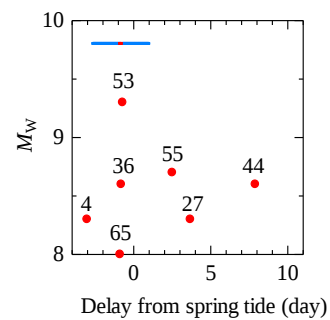


(c)チリ南部(チリ全体では集中みられず)

図 2 南米の分析結果。危険な月齢を赤棒、次の巨大地震が起こり得る月齢を青棒で示す。



(a)巨大地震の分布



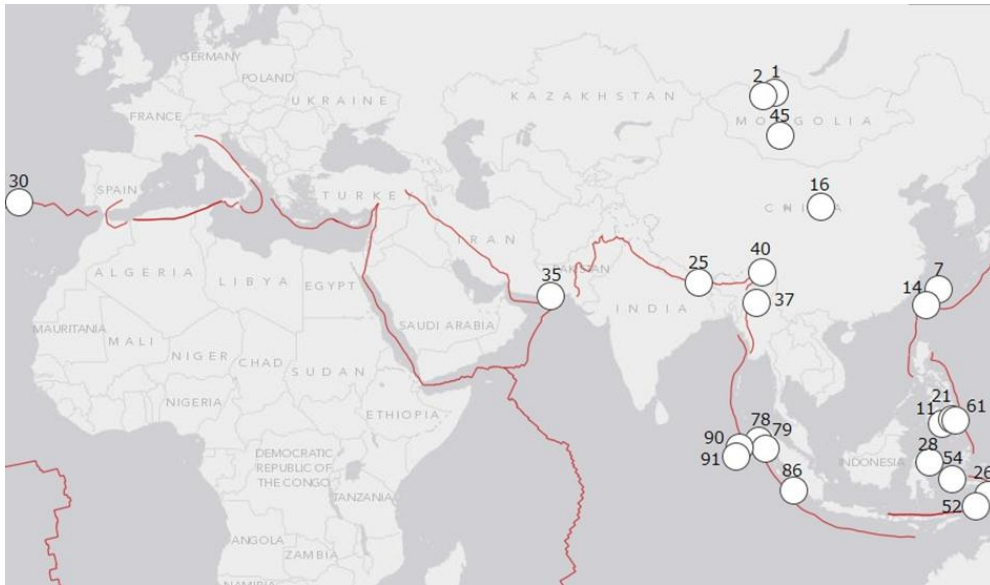
(b)アラスカ

図 3 北米の分析結果

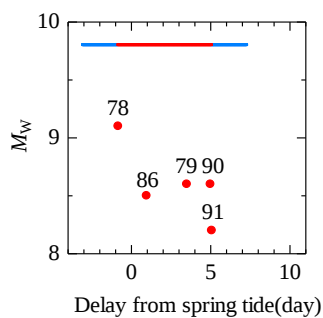
5. 分析に用いるマグニチュードの下限

本研究でマグニチュード 8 以上の巨大地震のみを対象としているのは、巨大地震は予測したいが、小さい地震は予測したくないということであるが、上記分析結果をみると、統計的手法は用いているものの、事象数が少なくやや説得力に欠けると言わざるを得ない。そこで、ペルーについて、マグニチュード下限に関する検討を行った。南緯 2.75～17.54 度、西経 69.4～80.9 度の範囲で生じた M7.5 以上の事象について分析を行うと M8.0 以上の場合よりも顕著に大地震の集中が認められ(図 8a)、危険率も 0.0427%と

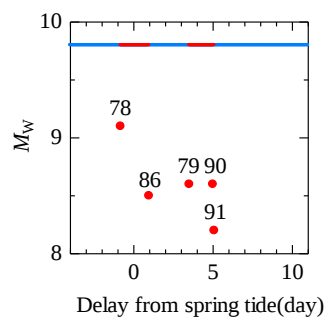
小さくなった。しかし、M7.0 以上とすると(図 8b)、地震の特定の月齢範囲への集中は不明瞭になり、危険率も 2.12%とかえって増加してしまった。したがって、ペルーの場合は M7.5 以上として分析するのが一番よいと判断される。



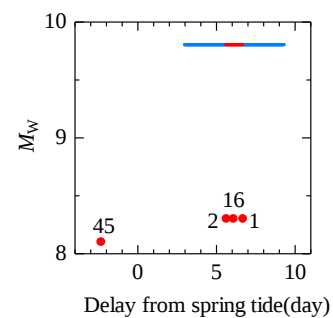
(a)巨大地震の分布



(b)スマトラ



(c)スマトラ(2 つに分けた場合)



(d)モンゴルおよびその周辺

図 4 アフリカ・ユーラシア・インドネシアの分析結果

6. 結言

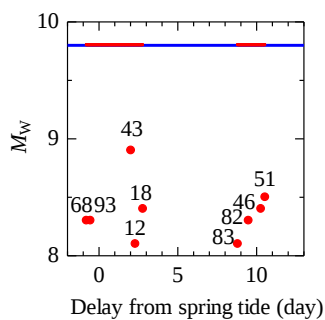
次の巨大地震の起こり得る月齢範囲は現状では広すぎて、あまり有用とはいえないものの、統計的な手法に基づいて、世界の 8 つの地域における巨大地震の集中する月齢範囲を、大潮からの遅れとして示すことができた。マグニチュードの下限に関する検討を他の地域についても行うことにより、より精度の高い分析が可能になると期待される。地域によって巨大地震の集中する月齢が異なる理由については、ひずみ速度の影響に注目し、Fujii et al. (2013, 2015), Wang et al. (2015)などで検討を試みているが、さらに考察を進める必要がある。

2011 年の東北地方太平洋沖地震の例では、危険な月齢中に前震が多数発生し、前震は収まったものの、まだ危険な月齢中に、甚大な被害を伴う本震が発生した(図 9)。この例からは、たとえば、危険な月齢中にマグニチュード 4 以上の地震が起きた場合には、巨大地震が発生する可能性があり、危険な月齢が終わるまで十分に注意することによって、地震の被害を大幅に減らすことができる」と期待される。

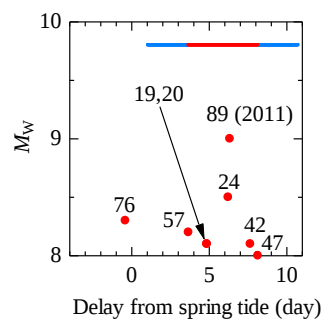
ただし、これを期待で終わらせないためには、過去に遡り多数の事例について詳細に調査し、巨大地震の発生が予想され発生した場合(的中)、予想されたが起きなかった場合(誤報)、予想されなかったのに起きた場合(見逃し)、予想されずに起きなかった場合について分類し、判断基準を確立することが望まれる。



(a)巨大地震の分布

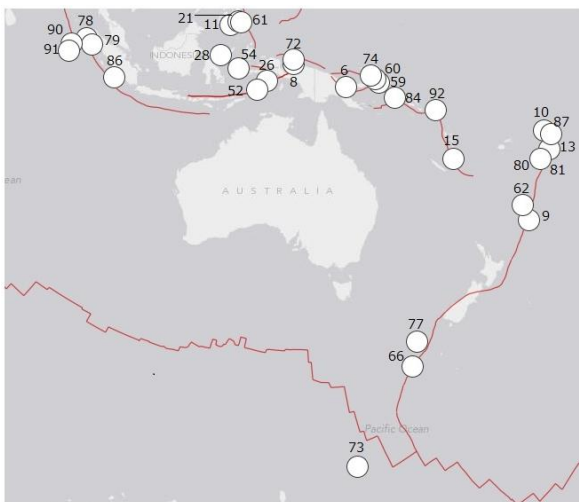


(b) クリル

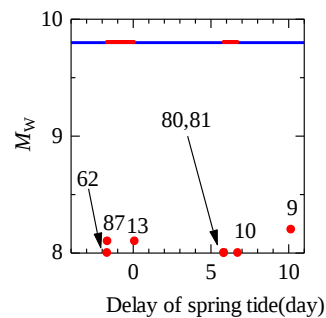


(c)日本海溝 (19, 20 は重複データ)

図 5 日本周辺の分析結果



(a) 巨大地震の分布



(b) サモア・トンガ

図 6 オセアニアの分析結果 (80 と 81 は重複データ)

引用文献

- Cochran, E., Vidale, J. and Tanaka, S. (2012), Earth Tides can Trigger Shallow Thrust Fault Earthquakes, Science, Vol. 306, pp. 1164-1166,.
- Fujii, Y., Kodama, J. and Fukuda, D. (2015), Giant Earthquakes are Occurring at Lunar Phases Specific to Each Subduction Zone, Proc. ISRM Congress 2015 (The 13th. International Congress of Rock Mechanics), Paper 513.
- Fujii, Y. and Ozaki, Y. (2012), Date, Lunar Phase and Time of Giant Earthquakes might be Specified for Each Subduction Zone,

Seismological Research Letters, Vol. 83, No. 2, p. 456 (Seismological Society of America 2012 Annual Meeting, Apr. 19, San Diego)

Fujii, Y., Ozaki, Y., Fukuda, D. and Kodama, J. (2013), Why Do Giant Earthquakes Occur at Lunar Phases Specific to Each Subduction Zone? RS2013-1021, 6th Int. Symp. on In-situ Rock Stress, 20-22 August 2013, Sendai Japan, 8/21

Nakata, R., Suda, N. and Tsuruoka, H. (2008), Non-volcanic Tremor Resulting from the Combined Effect of Earth Tides and Slow Slip Events, Nature Geoscience, Vol. 1, pp. 676-678, doi: 10.1038/ngeo288.

Ozaki, Y. and Fujii, Y. (2012), Characteristics of Date, Time and Lunar Phase of Giant Earthquakes for Each Subduction Zone, SSS25-05, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 20, Makuhari

Wang, Y., Fujii, Y., Fukuda, D. and Kodama, J. (2015), Deformation and Failure of Kimachi Sandstone under Constant Strain Rate and Cyclic Loading, Proc. MMIJ Spring Meeting, 1515, Mar. 27, Chiba.

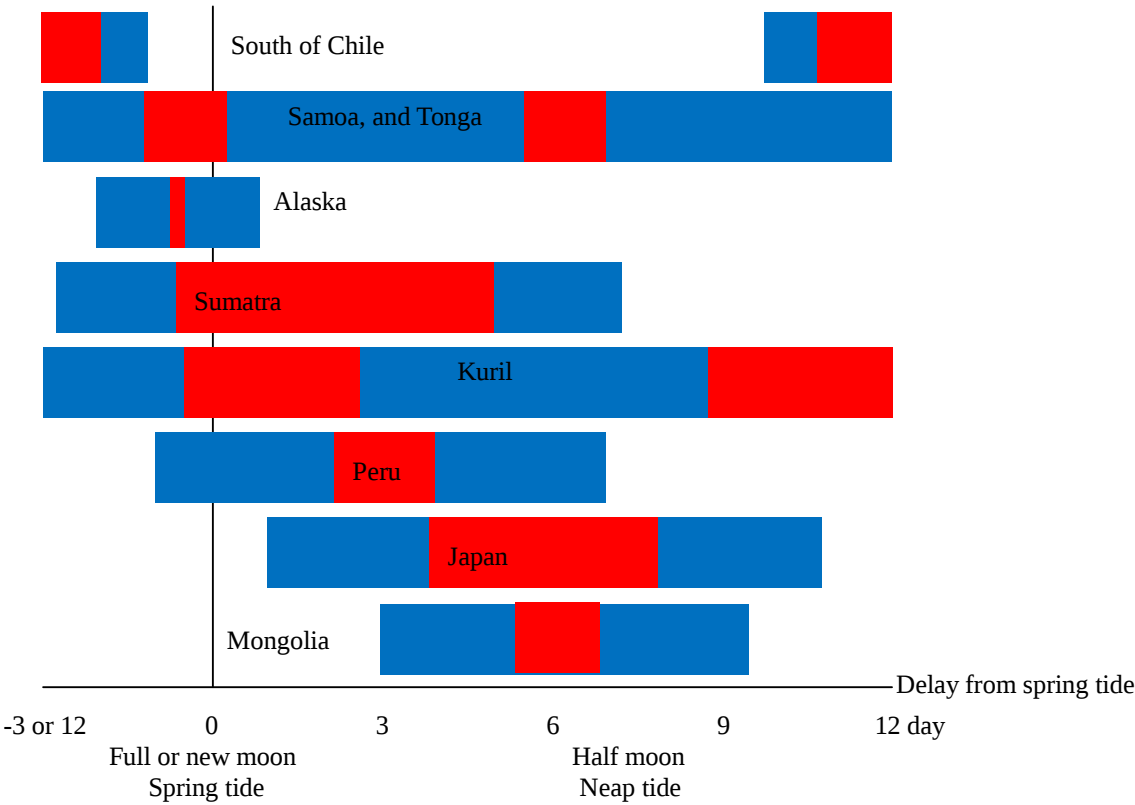


図 7 危険な月齢(赤)と次に起こり得る巨大地震の月齢(青)の一覧

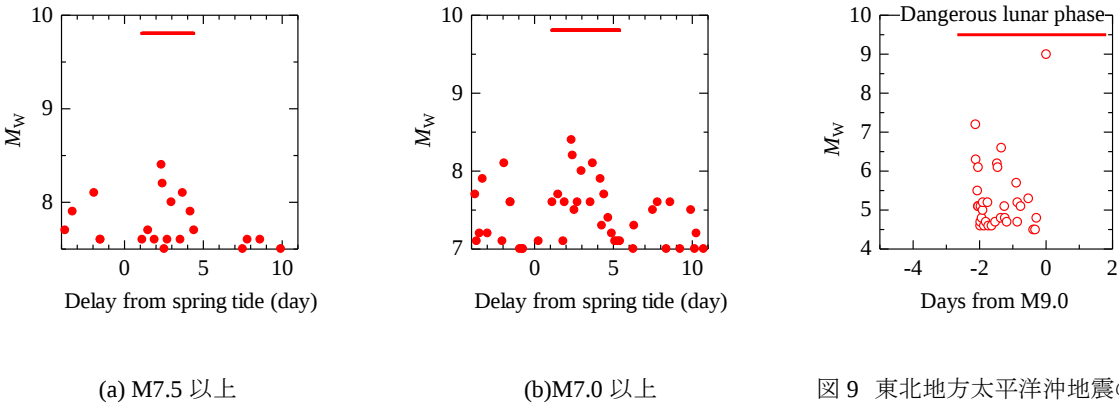


図 8 ペルーの分析結果

図 9 東北地方太平洋沖地震の例