

*Zjawiska krytyczne w przyrodzie,
czyli to co łączy trzęsienia ziemi i
krachy na giełdzie*



Andrzej Jarynowski (2007)

Spis treści:

Wprowadzenie

Czarne poniedziałki na giełdzie

Prawa potęgowe i analiza szeregów
czasowych

Trzęsienia ziemi i początki badań nad
krytycznością

Przewidywanie trzęsień ziemi i badanie
szeregów czasowych

Log-periodyczne oscylacje

1) Wprowadzenie

IDEA

Można zauważyć, że katastrofy, jakie mają miejsca w różnych dyscyplinach, wykazują podobieństwo zarówno w swoim przebiegu jak i w sposobie rozwijania się. Spróbuję przedstawić sposób dojścia od tradycyjnej ogólnej metodologii dla naukowych przepowiedań katastrofalnych wydarzeń do takich opartych na pojęciach i technikach statystycznej i nieliniowej fizyki. Ostatnie ujęcie przerzuca jakby most między dwiema standardowymi strategiami: analitycznej teorii i mechanicznej sile numerycznych symulacji. Takie ujęcie zostało odniesione do problemów tak różnych jak: struktury inżynierii, krachów rynku akcji i trzęsień ziemi od których tak naprawdę wszystko się zaczęło...

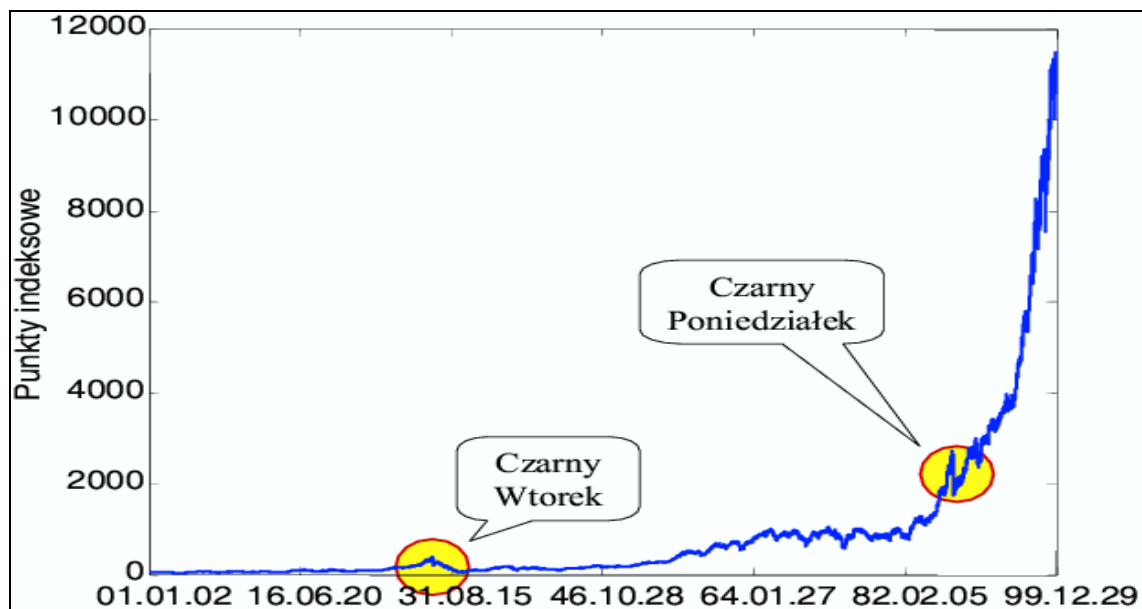
Co wspólnego mogą mieć uskoki sejsmiczne i rynki finansowe? Ostatnie badanie sugerują, że mogą one zostać opisane w dużym stopniu w tym samym podstawowym fizycznym terminie: jako samoorganizujące się systemy złożone. I w obu przypadkach mamy do czynienia z ekstremalnymi zachowaniami: trzęsieniami i krachami.

Wykorzystywanie dynamiki nieliniowej w opisie zjawisk przyrodniczych zaczęło się właśnie od próby opisu trzęsień ziemi. W opracowanie teorii sejsmicznych został włożony wręcz niewiarygodny wkład intelektualny, więc musiało to zaowocować. Nie ulega wątpliwości stwierdzenie, iż właśnie ujarzmienie, a przynajmniej namiastka jakiegś przewidywalności w stosunku do katastrof naturalnych powinno być priorytetem nauki. Jednak dzięki ciężkiej pracy geofizyków inne dziedziny nauki bardzo wiele skorzystały. Mogę nawet pokusić się na stwierdzenie iż nawet więcej niż sama geofizyka. Składając wielki pokłon geofizykom, szczególnie ze Stanów Zjednoczonych i Japonii, tworzymy teraz modele opisujące zjawiska zachodzące w ekonomii, socjologii i w wielu innych wydawało by się egzotycznych dla fizyki obszarach. Niestety (a być może na szczęście) w Polska nie posiada praktycznie żadnej tradycji w sejsmologii trzęsień ziemi poza pewnymi górniczymi zastosowaniami.

W mojej pracy odwrócę trochę kolejność dochodzenia do pewnych praw występujących, gdyż wyjdę od Ekonomii. Takie podejście wybrałem, gdyż po pierwsze jestem ekonofizykiem, a po drugie dzisiejsza nauka zdecydowanie więcej miejsca poświęca zastosowaniem fizyki w ekonomii i socjologii niż geologii. Ów trend powoduje iż pojawia się ogromna ilość publikacji naukowych odwołujących się do wcześniejszych prac takich ludzi jak Didier Sornette z Uniwersytetu Kalifornijskiego –guru w dziedzinie geofizyki i systemów złożonych. Dlatego też proponuję (wydaję mi się) ciekawą podróż od tego czym teraz żyje świat (pieniądze) w przeszłość, kiedy bardziej liczyło się ludzkie życie.

2) Czarne poniedziałki na giełdzie

Ludzie od dawna zastanawiali się czemu nagle giełda w wyniku krachu jest w stanie pogрузić kraj, bądź nawet cały świat w gospodarczej zapaści. Co prawda zdarzały się kryzysy, które były spowodowane ewidentnymi naciskami zewnętrznymi, na przykład na początku lat siedemdziesiątych, kiedy OPEC zmniejszył limity wydobycia ropy naftowej. Wiemy przecież jak ważna dla prawidłowego funkcjonowania gospodarki są paliwa płynne, więc zaistnienie kryzysu było tylko logiczną konsekwencją faktów. Ale nie zawsze można było znaleźć przyczynę bezpośrednią, bądź pośrednią krachu. Powstawały w to miejsce niesamowite teorie spiskowe, które jednak nie dawały obiektywnej odpowiedzi na to co się stało.



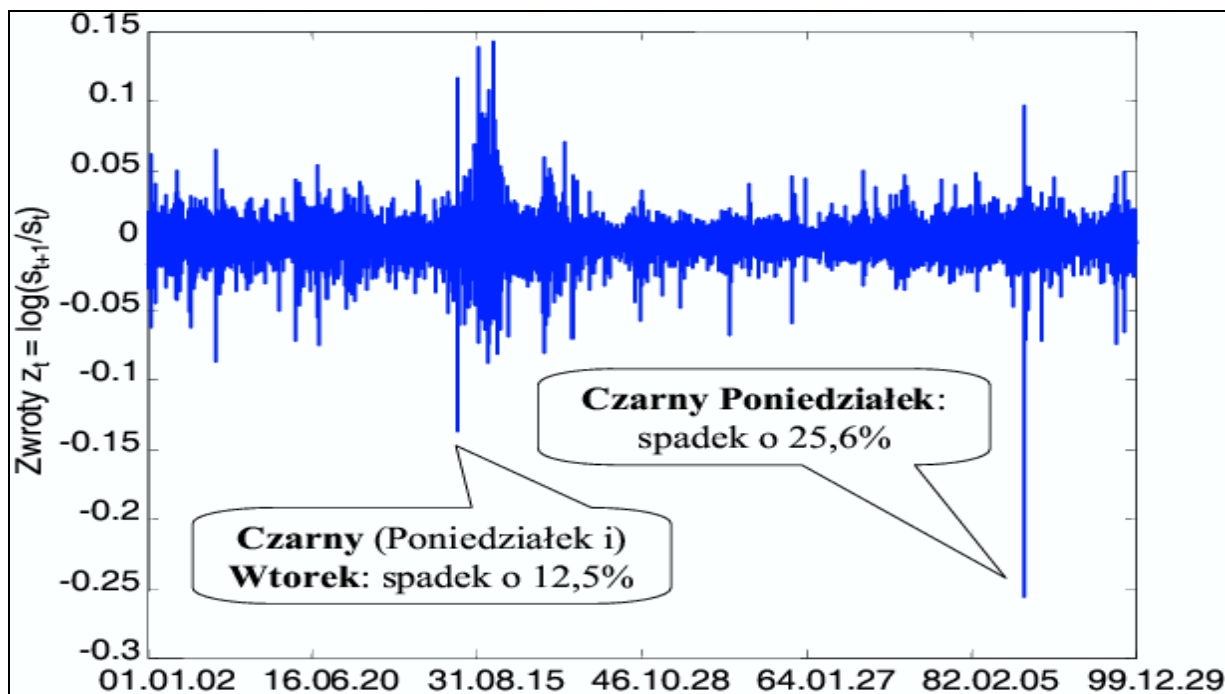
Wyk 1. Indeks DJIA¹ (1901-1991)

¹ [Dow Jones Industrial Average](#) – jeden z najważniejszych indeksów nowojorskiej giełdy

Teraz pewnie sejsmolog może się zapytać co to ma wspólnego z trzęsieniami ziemi? Przecież na giełdzie mamy do czynienia z czynnikiem ludzkim, który nie pozwala na opis równaniami matematycznymi. Poza tym jak się nawet spojrzy na powyższy wykres to nijak nie można porównać go ze znanymi zjawiskami sejsmicznymi. Ale wprowadźmy nową jednostkę analizy. Zwrot:

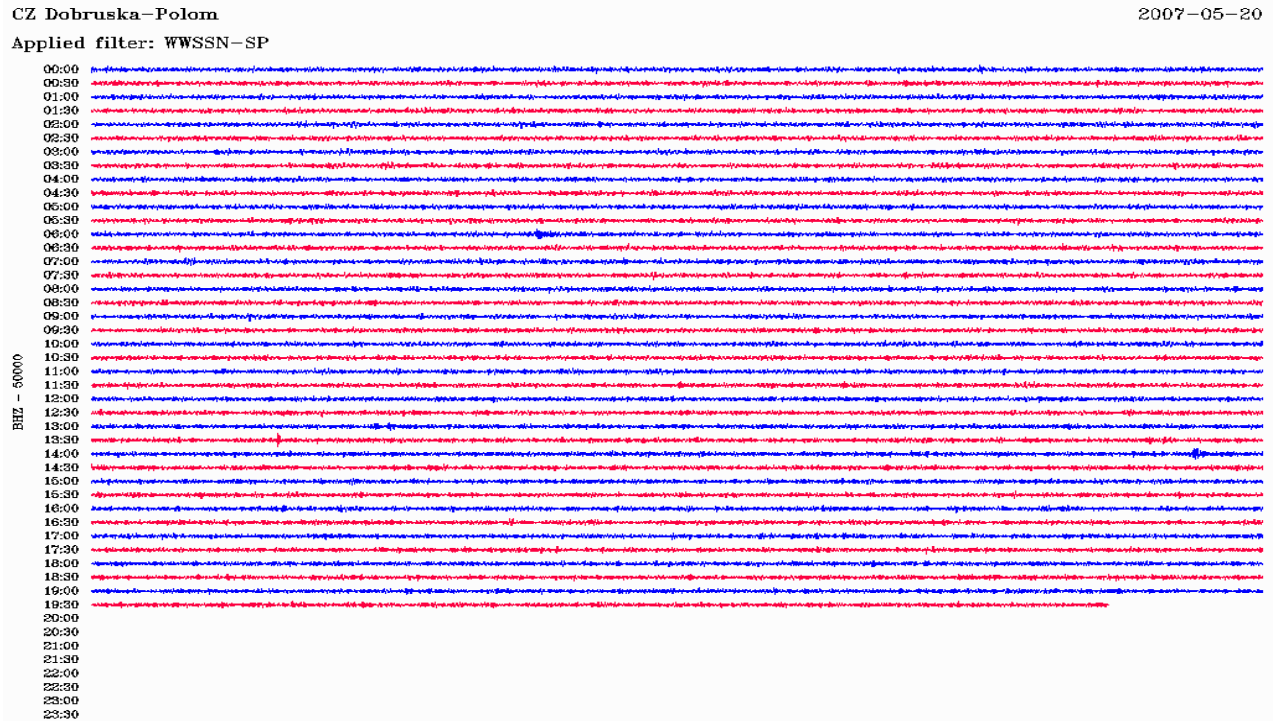
$$z_t = \log(s_{t+1}/s_t) \approx (s_{t+1} - s_t) / s_t$$

Spróbujmy zobaczyć jak zwrot- czyli wielkość mówiąca o względnej zmianie indeksu prezentuje się na przestrzeni lat?



Wyk 2. Zwrotu indeksu DJIA (1901-1991)

Dla przykładu możemy przyjrzeć się wykresom zrobionym przez czeskie sejsmografy tego roku:



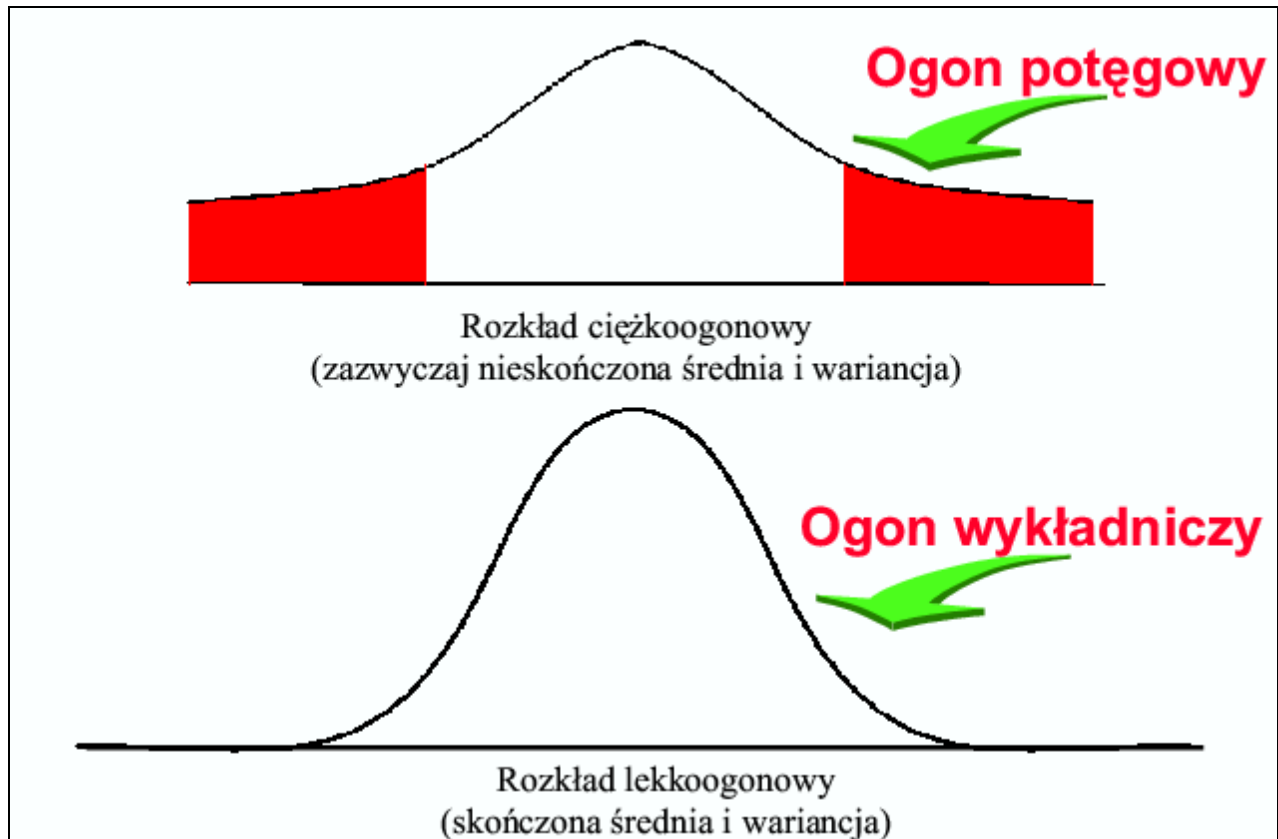
Wyk 3. Czeski sejsmograf :)

To było dla wzrokowców. Dalej rozważmy jakim rozkładem można opisać owe zwroty. Jeśli przyjmiemy, że jest to proces gaussowski to otrzymamy prawdopodobieństwa wystąpienia owych krachów na poziomie :

$<10^{-32}$ dla kryzysu lat trzydziestych oraz

$<10^{-127}$ dla roku 1987

Ta druga wartość jest tak mała, że aż dla fizyków mikroświata przerażająca (wielkość jądra atomowego jest rzędu 10^{-14} m). Rozkład normalny nie sprawdza się w tym przypadku.



Wyk 4. Ogony rozkładów

Tak więc funkcją wykładniczą nie opiszemy danych finansowych ze względu na „grube ogony”(czyli te obszary gdzie zwroty bardzo mocno się wahają). Kolejną propozycją niech będą rozkłady potęgowe. Z nimi jest niestety taki problem, że ich właściwości statystyczne są nieciekawe...nieskończone pierwszy i drugi momenty statystyczne(czyli średnia i wariancja). Pamiętając o rozkładach potęgowych przejdźmy na chwilę do szerszej analizy statystycznej danych.

3) Prawa potęgowe i analiza szeregów czasowych

Główne cele analizy:

- * Odnajdywanie praw potęgowych
- * Szukanie korelacji (jak dane teraźniejsze i wsteczne mogą wpłynąć na przyszłość)
- * Porównywanie danych pochodzących z różnych zjawisk, np. danych finansowych z danymi sejsmicznymi

Przy uwzględnieniu tych głównych założeń możemy dalej zgłębiać zjawiska krytyczne. Jednym z

pierwszych ludzi, którzy włożyli w to kamień milowy (a nawet nilowy...) był Hurst.

Hurst (1950) badał zmiany poziomu wody na Jeziorze Wiktorii. Jak wiemy z geografii Nil tam ma swoje początki. Ponadto od jego wylewów zależy gospodarka perły w koronie imperium brytyjskiego czyli Egiptu. Co prawda w czasie tych badań był to już niepodległy kraj, ale było to jeszcze przed kryzysem Sueskim i Anglikom mogło zależeć na regularnych dostawach pszenicy. Hurst w dosyć dokładnie przebadał statystyczne właściwości zmian poziomu wody. W trakcie swoich dociekań zauważył ciekawą relację. Kiedy dzielił szeregi na paczki, ustalał zasięgi wewnątrz tych paczek odkrył prawo potęgowe. Możemy powtórzyć jego algorytm dla DJIA.

- Podziel szereg danych o długości N na d podprzedziałów o długości n
- Dla każdego podprzedziału:
 - oblicz średnią i odchylenie std. (S) zwrotów
 - odejmij średnią od zwrotów
 - zbuduj szereg skumulowanych zwrotów Y_i
 - oblicz zasięg (*range*) $R = \max\{Y_i\} - \min\{Y_i\}$
 - przeskaluj (*rescale*) zasięg: R/S

$$(R/S)_n = \frac{1}{d} \sum_{m=1}^d \frac{R_m}{S_m}$$

Co na wykresie log-log daje linię prosto, co wskazuje właśnie na prawo potęgowe.

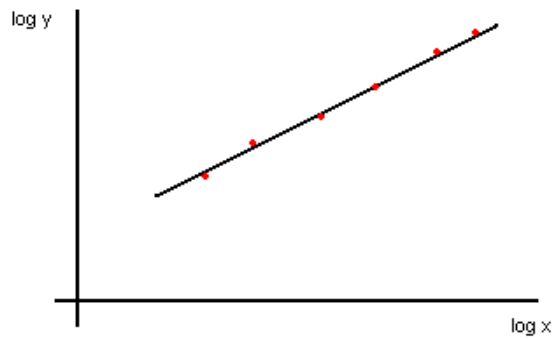
Mówimy, że wielkości x, y łączy prawo potęgowe, jeśli $\exists x \in X$ (obszar), tak, że

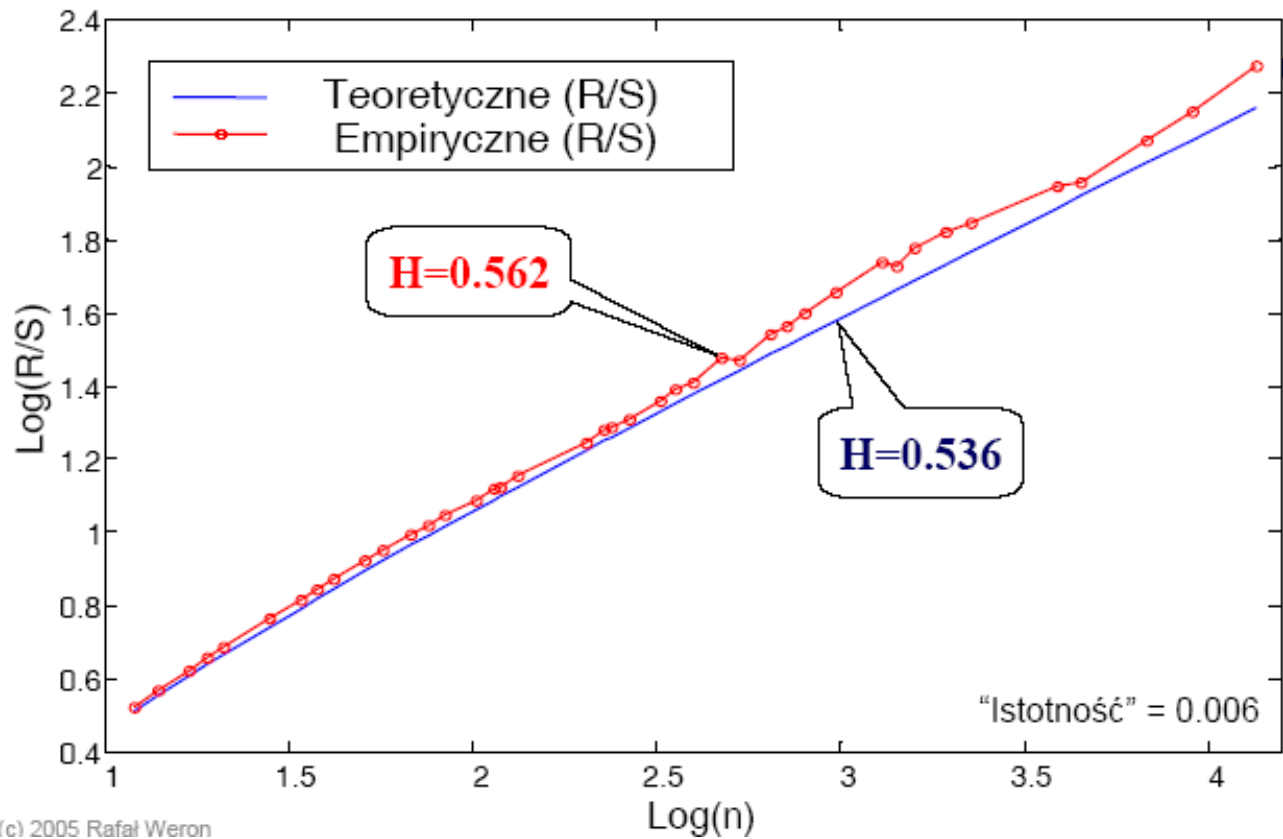
$$y(x) = Ax^a$$

gdzie A i a to pewne stałe.

Uwaga: $X \subset D_x$ -obszaru skalowania.

Prawo potęgowe najczęściej wyraża się w postaci liniowej: $\log y = \log A + a \log x$





Wyk 4. Analiza R/S Hursta

Ważnym efektem analizy R/S (Range/ Scale) jest uzyskanie wykładnika H, od nazwiska odkrywcy nazywana wykładnikiem Hursta. Jest on wykładnikiem krytycznym danego układu.

Obecnie do wyznaczenia wykładnika Hursta używa się nowocześniejszych metod.

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych jest DFA (Detrended Fluctuation Analyse).

Tym razem algorytm wygląda tak:

- 1 wycentruj $X'(i) = X(i) - E(X)$
- 2 podziel na rozłączne pudełka o długości τ
- 3 w każdym z pudełek dopasuj wielomian stopnia p
- 4 odejmij wielomian (detrend)

$$X_{\tau,p}(i) = X'(i) - W_{\tau,p}(i)$$

- 5 oblicz odchylenie standardowe otrzymanego sygnału

$$F_{DFA} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{\tau,p}^2(i)}$$

- 6 powtórz procedurę dla długości pudełka $\tau + 1$

Metoda DFA przejawia *prawo potęgowe*

$$F_{DFA}(\tau) \sim \tau^H$$

pozwala ono wyznaczyć wykładnik Hursta-Hausdorfa.

A o czym właściwie mówi nam ten wykładnik? Tutaj należy zagłębić się trochę we fraktale.

My fraktale będziemy odnosić do szeregów czasowych i odnajdywać w nich samopodobność (a oto właśnie we fraktalach chodzi!)

Wymiar fraktalny –

Jest to wykładnik potęgi wyrażenia potęgowego, łączącego ilość nowych obserwowanych szczegółów we fraktalu ze stopniem rozdzielczości, z jaką się na ten fraktal patrzymy. Można go wyrazić wzorem:

$$D = \frac{\ln N(r)}{\ln r} \notin \mathbb{N}$$

(nie będzie liczbą naturalną).

D- wymiar;

$N(r)$ – liczba nowych szczegółów;

r- rozdzielczość;

Na przykład dla krzywej Kocha:



· W kroku 0 ilość szczegółów $\times 1$, w kroku 1 ilość szczegółów $\times 4$. Natomiast rozdzielczość wynosi $r=3$.

czyli: $D_{KOCH} = \frac{\ln 4}{\ln 3} = 1,2619$

Wymiar multifraktalny z wykładnikiem Hursta łączy związek: $D=2-H$.

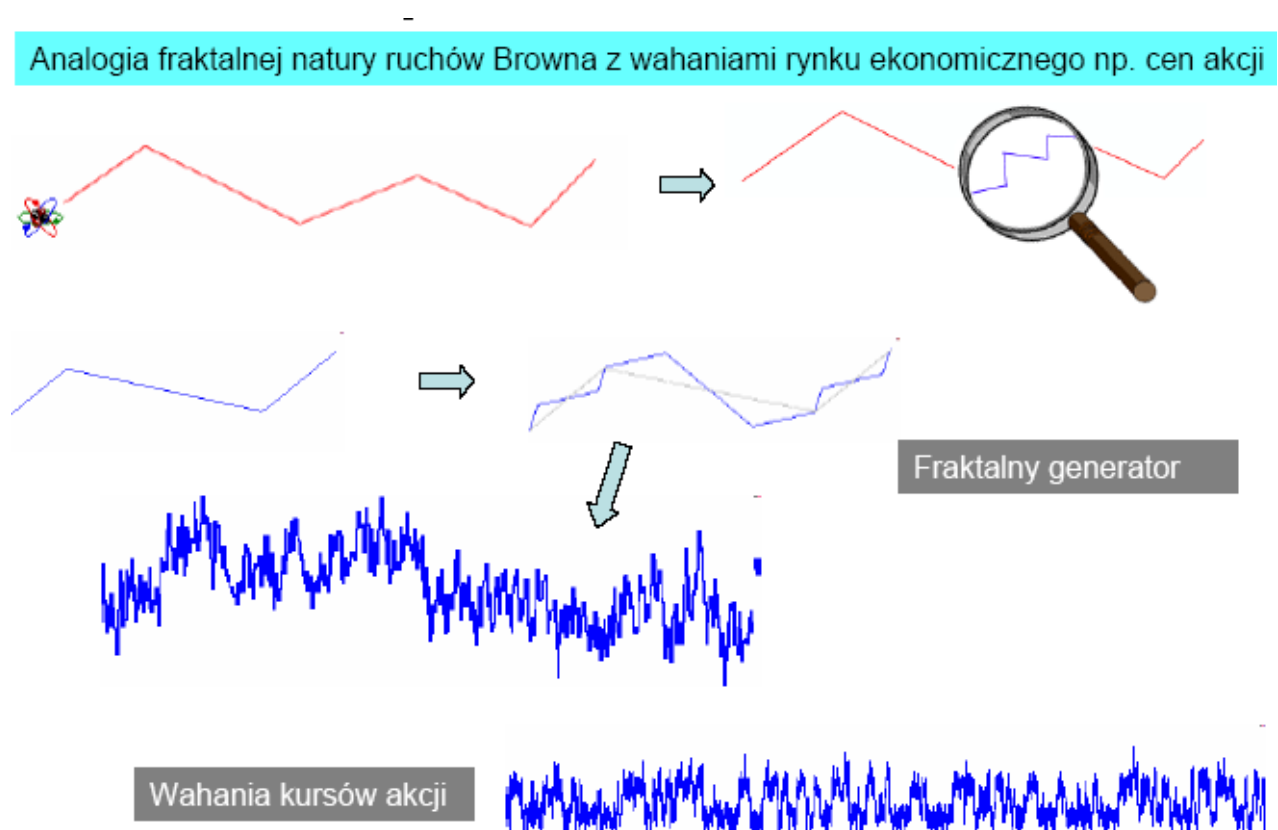
Szeregi czasowe mogą mieć wymiar fraktalny pomiędzy 1 a 2. $D=1$ dla prostej linii, a $D=2$ dla

szeregu który „zamiata” całą powierzchnię prostokąta w którym umieszczamy wykres.

Dla ruchu Browna wykładnik $H=1/2$, więc $D= 3/2$

$0<H<1/2$ sygnał antypersistencyjny, czyli dane są anty skorelowane, więc to co nastąpi będzie prawdopodobnie przeciwne do tego co było wcześniej

$1/2<H<1$ sygnał persistencyjny, czyli dane są skorelowane.

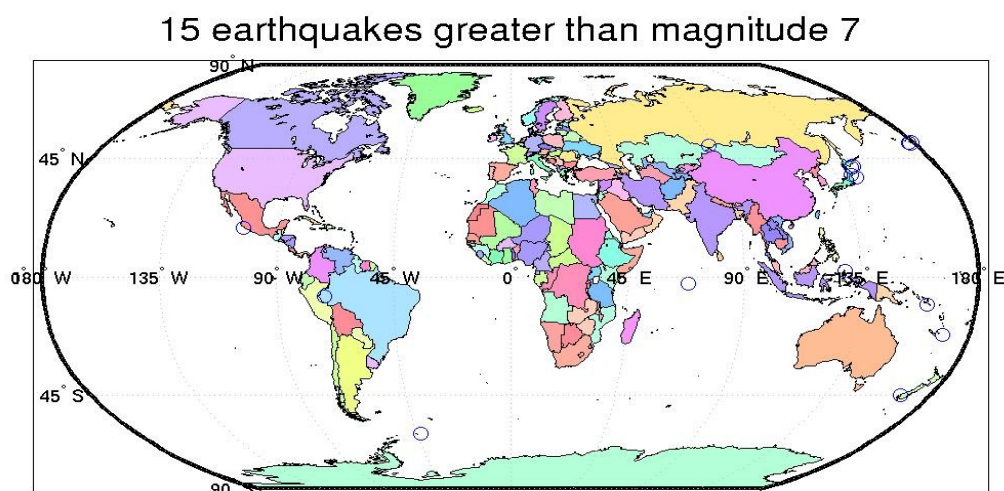


Wyk 5. Analiza Fraktalna w ekonomii

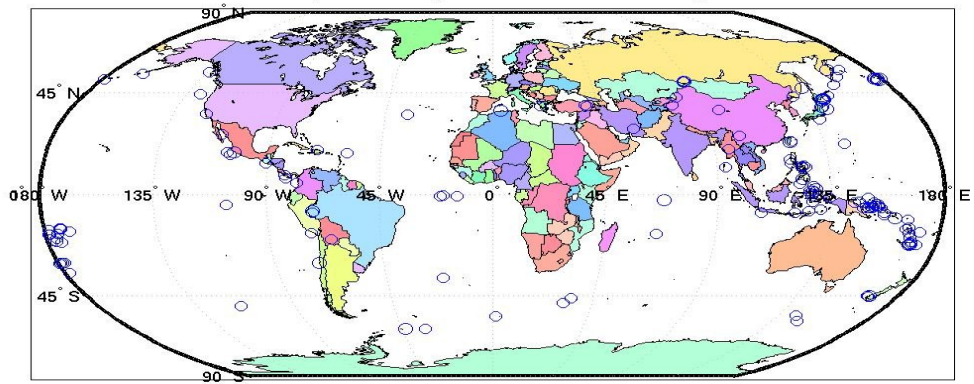
4) Trzęsienia ziemi i początki badań nad krytycznością

Rozkłady trzęsień ziemi można dopasować do pewnych teoretycznych statystycznych rozkładów.

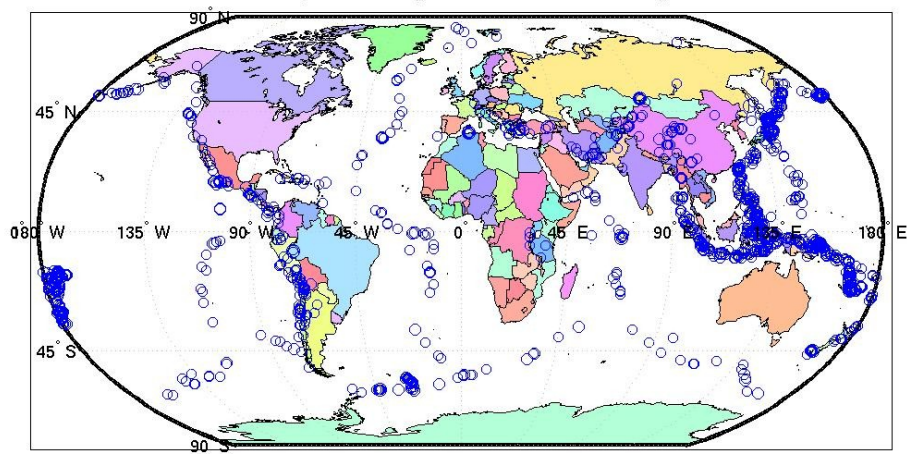
Zobaczmy jak ilość trzęsień zależy od ich magnitudy?



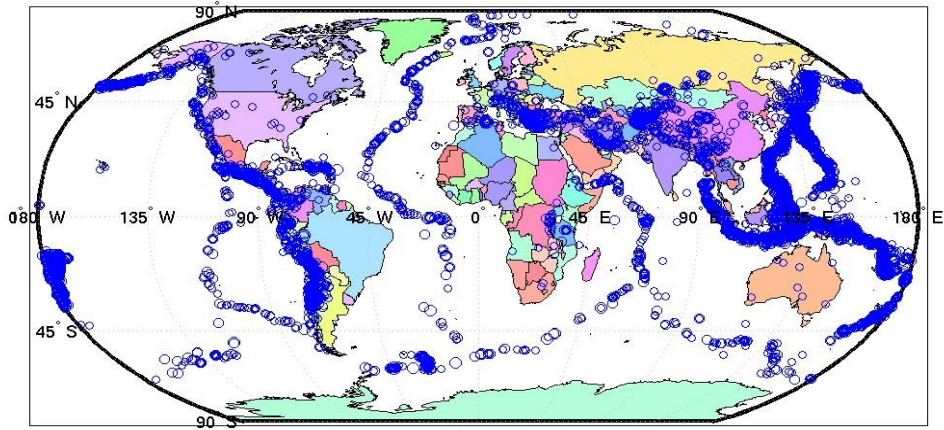
155 earthquakes greater than magnitude 6



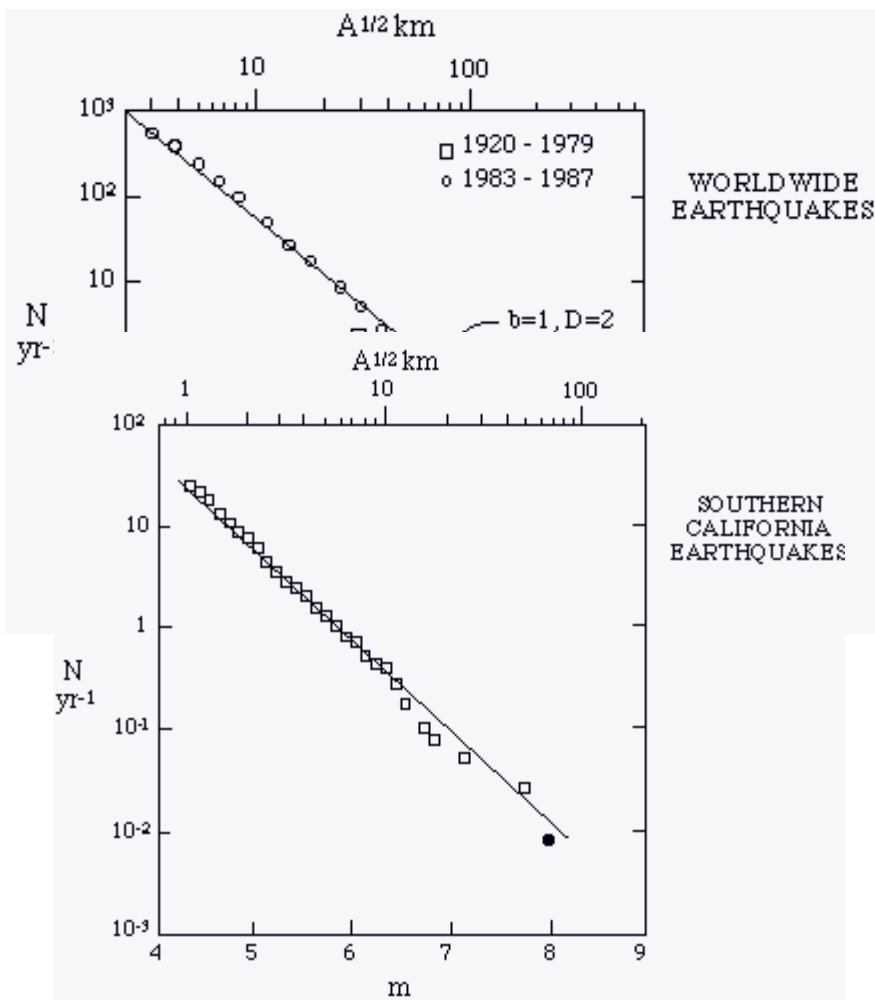
1306 earthquakes greater than magnitude 5



9768 earthquakes greater than magnitude 4



Powyższe dane możemy zebrać na wykresie dla całej ziemi jak i dla samej Kalifornii.



Wyk 6b. Trzęsienia ziemi w Kalifornii

Otrzymaliśmy w ten sposób prawo potęgowe, co już wskazuje z jakich metod będziemy dalej korzystać.

Póki co spróbujmy przybliżyć sam fenomen trzęsienia ziemi.

OPIS ZJAWISK TRZĘSIEŃ ZIEMI

Teraz z kolei muszę omówić pokrótce opis zjawiska trzęsień Ziemi i główne pojęcia występujące w tej dziedzinie, aby potem móc wszystko razem powiązać.

Greckie słowo $\sigma\epsilon\iota\sigma\mu\acute{o}\varsigma$ oznacza trzęsienie ziemi. **Sejsmologia** jest to dział geofizyki zajmujący się badaniem mechanizmu i przebiegu trzęsień ziemi oraz procesów związanych z rozchodzeniem się, powstałych wskutek trzęsień, fal sejsmicznych.

Trzęsienia Ziemi wzbudzają wielkie zainteresowanie wśród mieszkańców obszarów sejsmicznych ze względu na szkody, a także drgania mają doniosłe znaczenie z punktu widzenia geofizycznego, gdyż pozwalają na zbadanie własności sprężystych najgłębszych warstw wnętrza Ziemi bezpośrednio niedostępnych.

Trzęsienie Ziemi – naturalny, krótkotrwały wstrząs gruntu, pochodzący z głębi Ziemi i rozchodzący się po powierzchni Ziemi i jej wnętrzu w postaci fal sejsmicznych.

Źródłem wstrząsu jest **ognisko**, czyli miejsce, w którym uwolniona została energia, gdyż równowaga mas została nagle i gwałtownie naruszona. Deformacje, przekraczając wytrzymałość sztywnego ośrodka w całym obszarze ogniska, powodują w nim trwałe odkształcenia. Poza jego granicami przemijające odkształcenia sprężyste rozchodzą się we wszystkich kierunkach jako fale sejsmiczne.

Promienie tych fal wybiegają pozornie z jednego punktu zwanego **hipocentrum**. Punkt na powierzchni Ziemi, pionowo nad hipocentrum stanowi **epicentrum**.

Obszar, na którym nasilenie zjawiska było maksymalne, nosi nazwę obszaru epicentralnego, a cały obszar, na którym zjawisko jest odczuwalne, obszaru makrosejsmicznego.

Nie wszystkie wstrząsy obserwowane na powierzchni Ziemi mają przyczyny geologiczne, np. upadek w 1908r. w Syberii meteorytu tunguskiego został zarejestrowany przez sejsmografy w Irkucku jako lokalne trzęsienia ziemi.

Istnieją również wstrząsy wywołane zmianą naprężeń w ośrodku skalnym na skutek działalności człowieka, np. prac wydobywczych w kopalniach czy kamieniołomach, napełniania wielkich zbiorników wodnych, eksplozji materiałów wybuchowych.

Sejsmiczność taką gdy związana jest bezpośrednio z pracami i ich lokalizacją określa się jako **indukowaną**. Gdy na skutek redystrybucji naprężeń trzęsienie pojawia się po jakimś czasie lub w większej odległości mówimy o **sejsmiczności wzbudzonej**.

Intensywność jest miarą skutków trzęsienia w danym punkcie, a więc zależy nie tylko od tego, co zaszło w ognisku trzęsienia, ale i od odległości epicentralnej i budowy ośrodka, przez który przechodzą fale sejsmiczne.

Skala MCS (Mrecalli-Cancani-Sieberg), opierająca się na zestawieniu maksymalnych przyspieszeń gruntu odpowiadających poszczególnym 12-tu stopniom.

Można to przedstawić przybliżonym wzorem, przy czym współczynniki liczbowe są różne u różnych autorów:

$$\log a = \frac{1}{2}I - \frac{1}{3}$$

gdzie:

a – przyspieszenie gruntu, a I – intensywność – stopień Mercallego.

Przykładowy opis stopni empirycznej skali MCS:

I – nieodczuwalne.

II – bardzo lekkie.

III – lekkie.

IV – średnie.

V – dość silne.

VI- silne : $a \in [51;100] \text{ mm/s}^2$

VII- bardzo silne: $a \in [101;250] \text{ mm/s}^2$. Znacznie szkody w wewnętrznym urządzeniu mieszkań powstają wskutek przewracania się lub rozbijania ciężkich przedmiotów. Wieżowe dzwony większych rozmiarów biją. Woda w stawach , jeziorach i rzekach faluje i ulega zamięceniu przez poruszone muły; w niektórych miejscach osuwa się piaszczysty i żwirowy brzeg. Zachodzą zmiany poziomu wody w studniach. Liczne domy o europejskiej konstrukcji, mimo mocnej budowy ulegają umiarkowanym uszkodzeniom, takim jak: lekkie spękania w murach, odpadania większych partii tynków , wypadanie cegieł, rozluźnianie się i zsuwanie dachówek.

VIII- niszczące (burzące).

IX – pustoszące: $a \in [501;1000] \text{ mm/s}^2$. Mocne , murowane budynki konstrukcji europejskiej ulegają ciężkim uszkodzeniom, tak że wiele z nich staje się niezdatnymi do dalszego użytku, niektóre zaś walą się częściowo , a nawet w całości.

X- niweczące.

XI – Katastrofa: $a \in [2501;5000] \text{ mm/s}^2$.

XII- wielka katastrofa: $a \geq 5001 \text{ mm/s}^2$.

Badania sejsmologiczne mają się przyczyniać do prognozowania trzęsień ziemi.

Ilościową miarę wstrząsu, **magnitudę**, bazującą na danych instrumentalnych wprowadził

Richter (1935). Skala logarymiczna klasyfikacji magnitud daje podział dobrze reprezentujący zarówno większe, jak i mniejsze wstrząsy.

Według definicji Richtera magnituda jest to logarytm maksymalnej amplitudy, liczonej w mikrometrach, na zapisach standardowego sejsmografu: okres drgań własnych 0,8s, tłumienie zbliżone do krytycznego $\alpha = 0,8$ i powiększenie 2800 razy.

Pierwotnie skala Richtera opracowana była dla trzęsień w rejonie Kalifornii.

Richter i Gutenberg opracowali następnie sposoby obliczania magnitudy na podstawie pomiarów innymi przyrządami i w innych warunkach.

Obecnie magnitudę oblicza się wg odpowiednich wzorów na podstawie znajomości amplitud ruchu gruntu, dominującego okresu fali, odległości wstrząsu od miejsca rejestracji, głębokości ogniska oraz właściwości rejestrowanych fal

$$M = \log_{10} \frac{a}{T} + f(\Delta, h) + C_s + C_r$$

gdzie:

amplituda przemieszczenia drgań gruntu, w μm ;

T- odpowiadający okres fali, w s;

$f(\Delta, h)$ - poprawka na odległość epicentralną Δ i głębokość ogniska h ;

C_s - poprawka stacji, odpowiadająca lokalnym warunkom gruntu;

C_r - poprawka regionalna, różna dla różnych regionów trzęsień ziemi.

Taką magnitudę M nazywamy lokalną.

Stosuje się również **znormalizowaną magnitudę** m_b , bazującą na falach objętościowych (przestrzennych) i M_s bazującą na **amplitudzie poziomych przemieszczeń** gruntu fal powierzchniowych.

Nowoczesne bardzo czułe sejsmometry mogą rejestrować lokalne wstrząsy o magnitudach z dokładnością -2, -3 wyznaczanych z dokładnością do 0,1.

Obecnie stosuje się wzory określające magnitudę z wartości momentu sejsmicznego, jednego z parametrów opisujących ognisko trzęsienia.

Znaczenie skali magnitud jest znacznie większe przez empiryczny związek między magnitudą wstrząsu a **całkowitą energią fali sprężystej trzęsienia**.

Logarytm energii (w ergach) jest liniowo zależny od magnitudy (np. Lay i Wallace 1995):

$$\log E = 5,8 + 2,4m_b$$

$$\log E = 11,8 + 1,5M_s$$

Energia obliczana z tego równania dla $M=8,7$, tj. dla prawdopodobnie największego trzęsienia, jest rzędu $10^{18} J$ czyli $3 \cdot 10^8 MWh$. Dla porównania np. produkcja roczna energii

hydroelektrowni a świecie w roku 1990 wynosiła $2,162 \cdot 10^9 MWh$, a w Polsce $3,3 \cdot 10^6 MWh$, reakcja termojądrowa 1 kg uranu daje 70 MWh.

Dwunastostopniowa skala intensywności wiąże się ze skalą Richtera przybliżonym wzorem

(Stacey 1992)

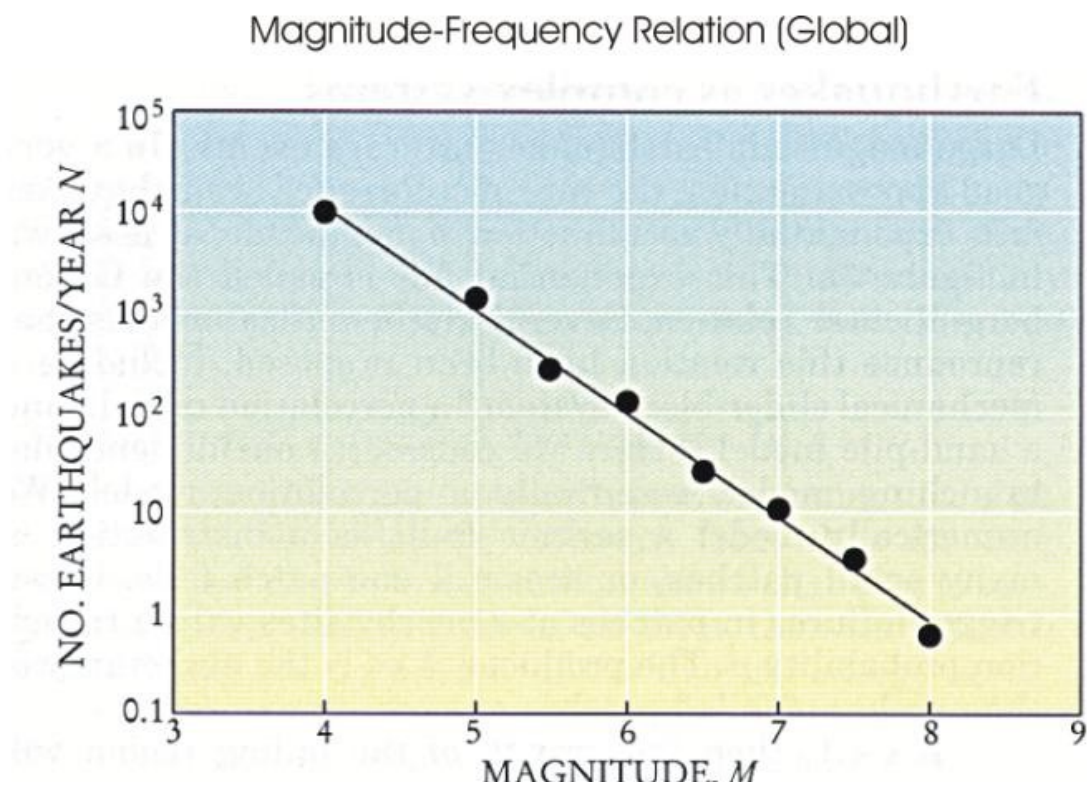
$$M = \frac{2}{3} I_{\max} + 1,7 \log h - 1,4$$

gdzie:

h- głębokość hipocentrum

stopień w skali Mercallego.

Teraz wykorzystajmy to co już wiemy...



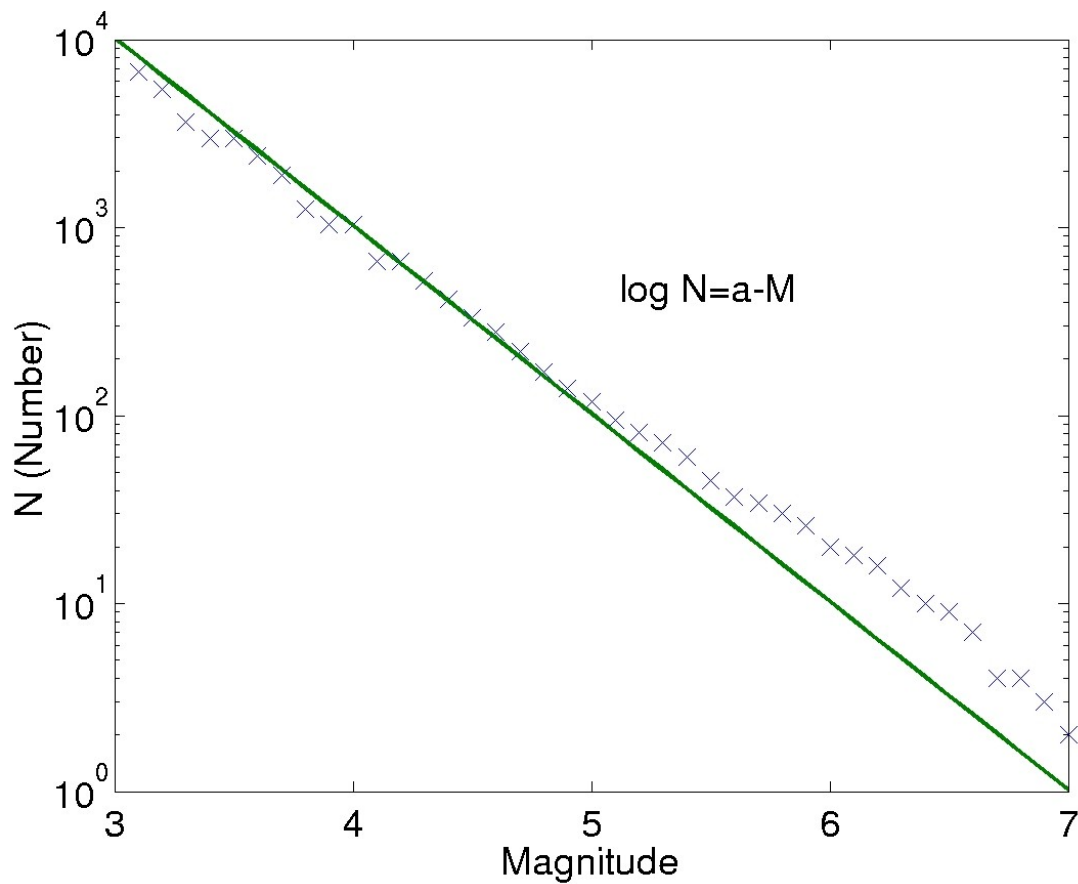
Wyk 7. Prawo Gutenberga-Richtera

To co stwierdziliśmy empirycznie teraz ubieramy w jedno z podstawowych praw rządzących

trzęsieniami ziemi.

Relacja między magnitudą (M) a ilością trzęsień ziemi:

$\text{Log } N = a - bM$, gdzie zazwyczaj $b \sim 1$ a dokładniej **b- współczynnika Gutenberga** – zależy od stosunku liczby trzęsień w grupach o niskiej i wysokiej magnitudzie, przeważnie $b \in [0,7;1,2]$.

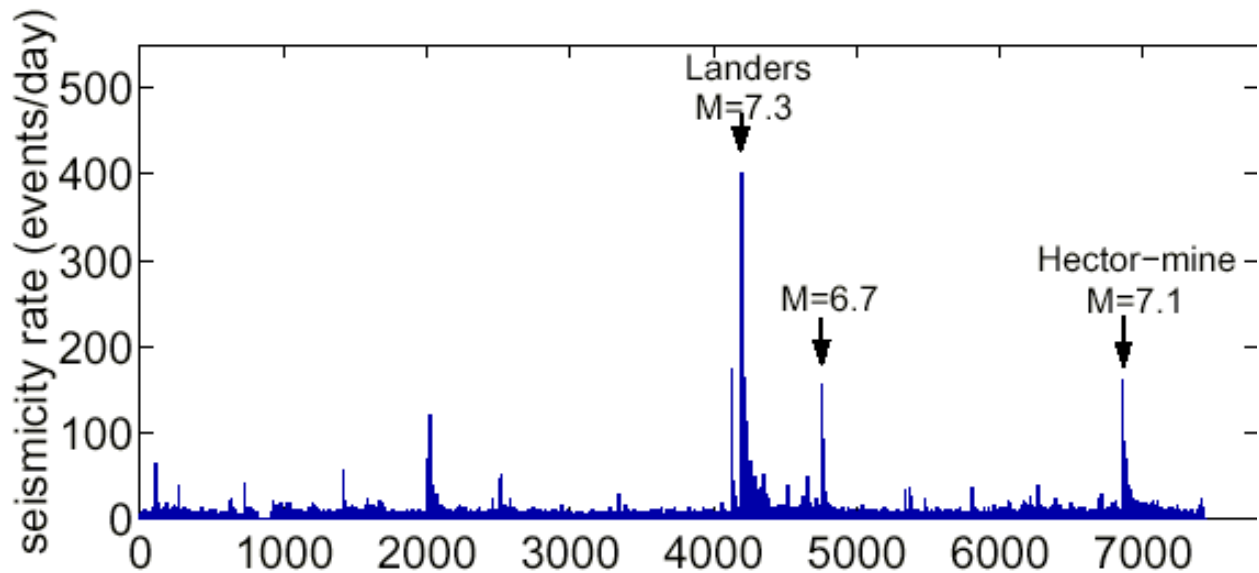


Wyk 8. Prawo Gutenberga-Richtera (sejsmika w Kalifornii)

Na wyk. 8 można zauważyć, że przy dużych magnitudach wielkości mierzone są większe od

tych wynikających z dopasowania do prawa Gutenberga-Richtera.

5) Przewidywanie trzęsień ziemi i badanie szeregów czasowych



Wyk 9. Trzęsienia ziemi występują zazwyczaj w sekwencjach (Kalifornia 1978-2000)

Wyróżnia się 3 rodzaje kategorii trzęsień: **Foreshocks**, **Mainshocks**, **Aftershocks**.

Ponieważ znalezienie polskich źródeł zajmujących się predykcją trzęsień ziemi graniczyło z cudem, nie wiem jak dokładnie przetłumaczyć owe wyrażenia i będę improwizował lub używał angielskich słów.

Foreshocks (wstrząsy poprzedzające)

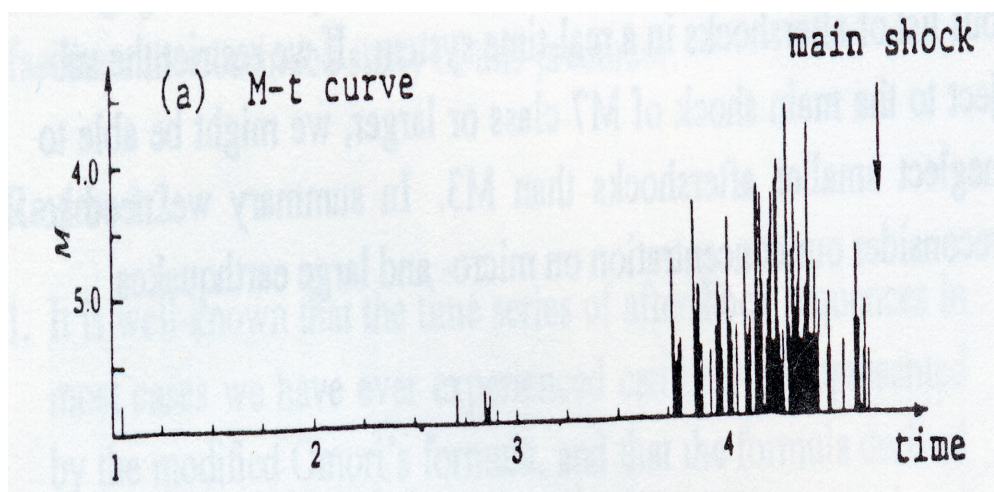
Małe trzęsienia ziemi poprzedzające mainshock

często na godziny przed

Nie zawsze występują

tylko połowa mainshocks ma chociaż jedno foreshocks

Zazwyczaj blisko mainshock hipocentrum



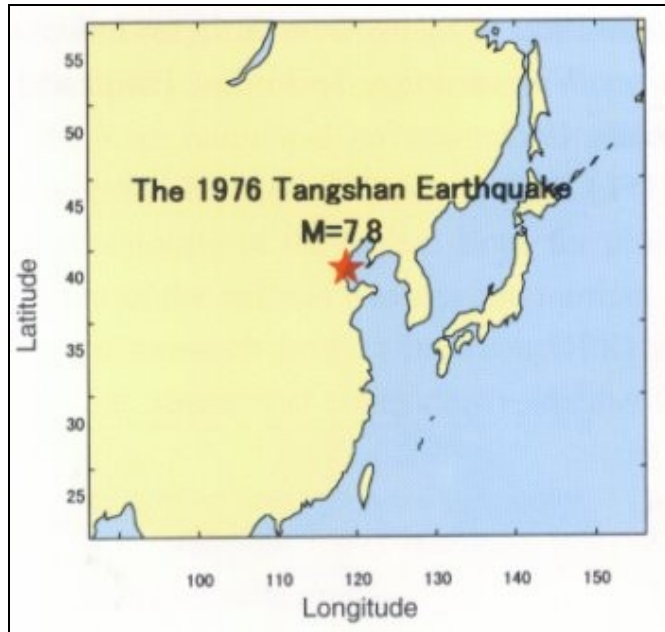
Wyk 10. Haicheng 1975 (Chiny)

Chińscy naukowcy przewidzieli wtedy, że nadchodzi trzęsienie ziemi i zdążyli ostrzec ludność.

Tangshan 27.06.1976 M 7.6-8.2

żadnych foreshocks





Skuteczność przewidywania ?

4.02.1975 Haicheng

udało się przewidzieć nadchodzące trzęsienie ziemi

14 miesięcy później....

Największa katastrofa 20-go wieku (ponad 650 tys ofiar)

W tym momencie należało by się zastanowić nad sensem prac nad

przewidywaniem trzęsień. Mimo najbardziej zaawansowanych technik analizy

statystycznej będziemy w stanie tylko z pewnym prawdopodobieństwem przewidzieć, że coś się ma wydarzyć. Nigdy nie uda się ze 100% pewnością określić, co się stanie gdzie i kiedy. Nawet po wprzęgnięciu nie statystycznych metod nie będziemy mieli pewności. Jednak mam nadzieję, że praca wielkiej rzeszy naukowców z całego świata przyniesie jakąś korzyść dla ludzkości.

Aftershocks (wstrząsy wtórne albo postwstrząsy)

Mniejsze trzęsienia ziemi następujące po (the mainshock) niedaleko strefy uskoku występują praktycznie zawsze
pokrywająca cały obszar uskoku
mogą ich być tysiące
występują latami a nawet dekadami

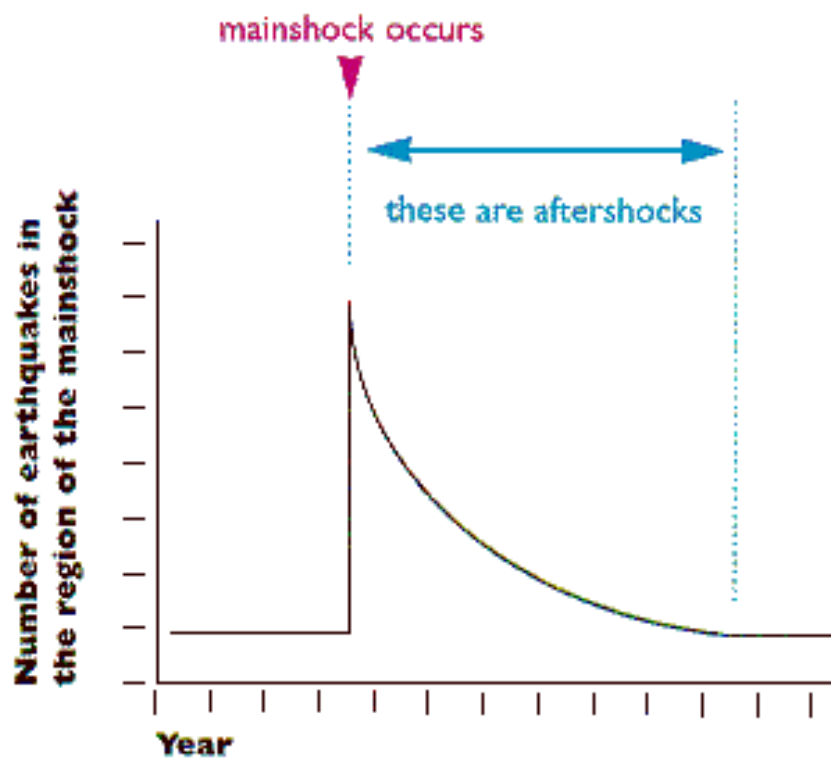
Matematycznie

próbuję je się opisać :

$$N \sim C/t, \text{ gdzie}$$

C- stała, N- liczba trzęsień, t- czas

How do we know it's an aftershock?



Wyk 11. Co wiemy o wstrząsach wtórnych?

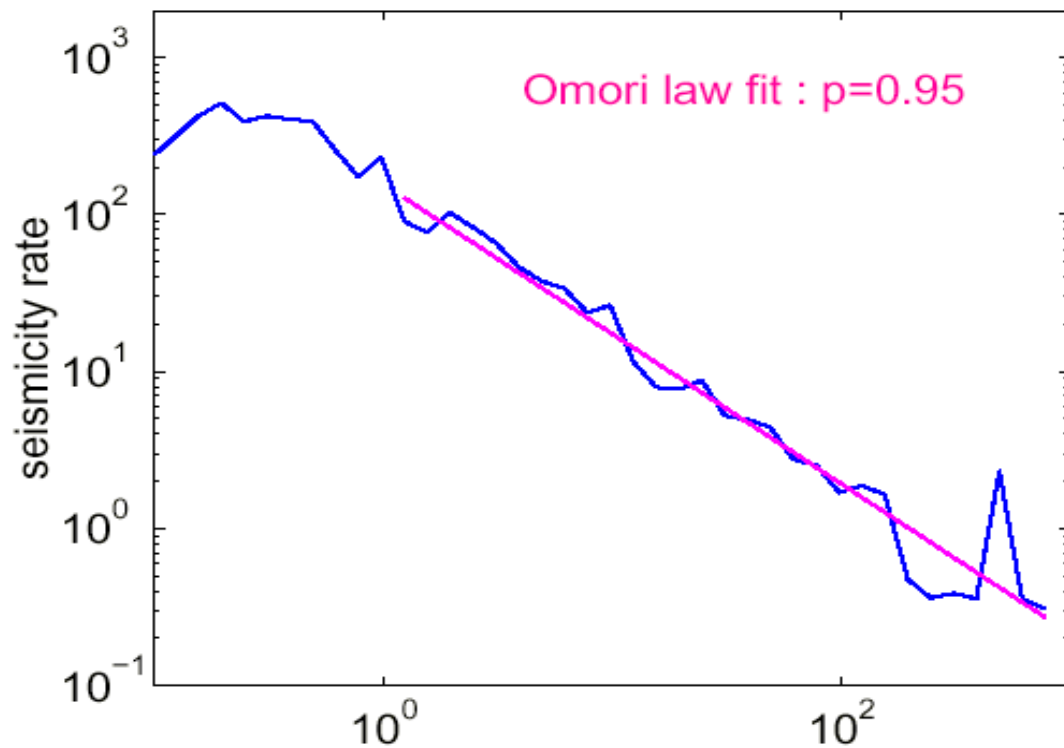
Zmodyfikowane prawo Omori:

$$N(t) = \frac{K}{(t + c)^p}$$

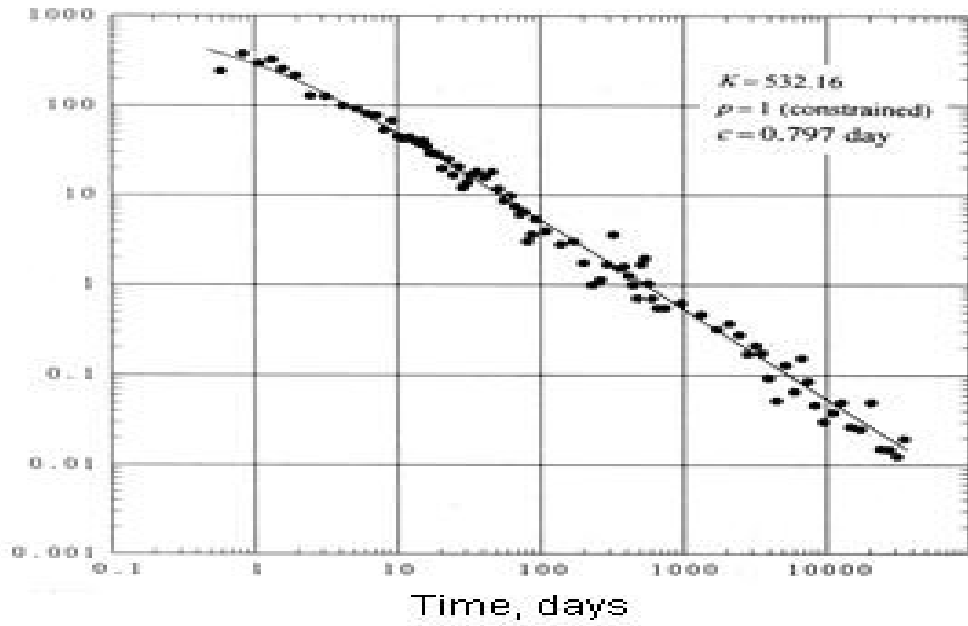
p mieści się w obszarze $[0.3, 2]$, często blisko 1

c jest krótkim czasem ~ 1 godzina, opóźnienie pomiędzy mainshock oraz aftershocks

K wzrasta wraz z M (duże trzęsienia ziemi mają więcej aftershocks)

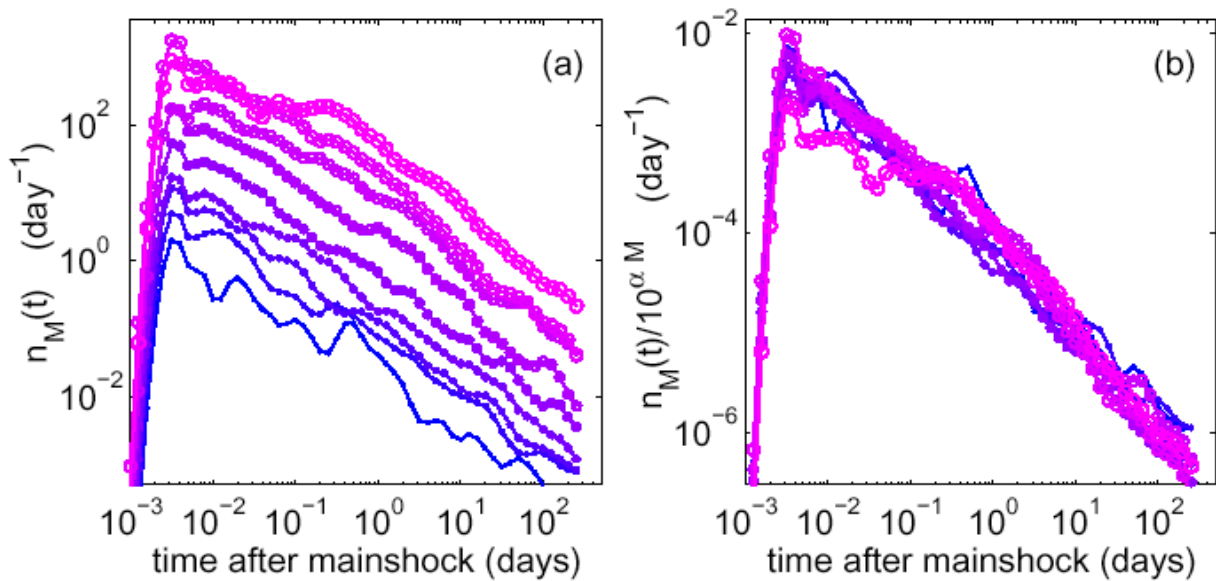


Wyk 12. Przykład aftershock (1992, M=7.3, Kalifornia)



Wyk 13. Aktywność aftershock po trzęsieniu:1891 Nobi, Japonia,

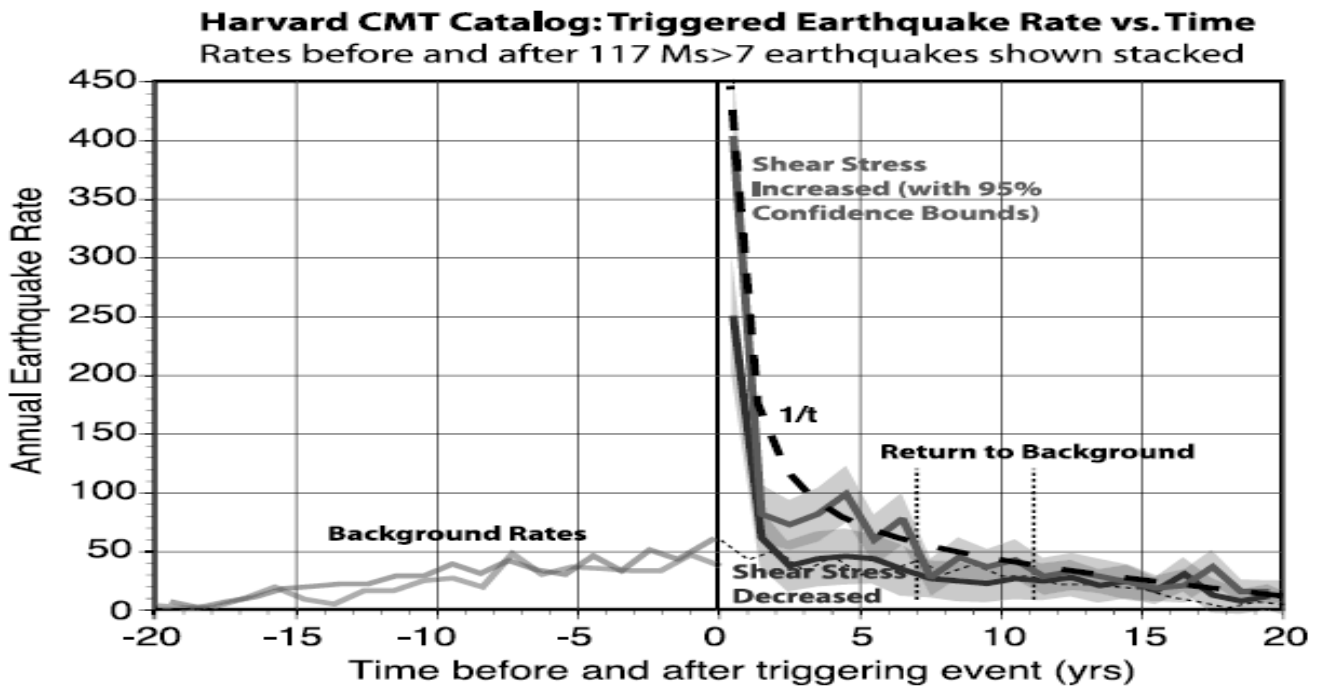
.... Ponad 100 lat (prawo Omori)



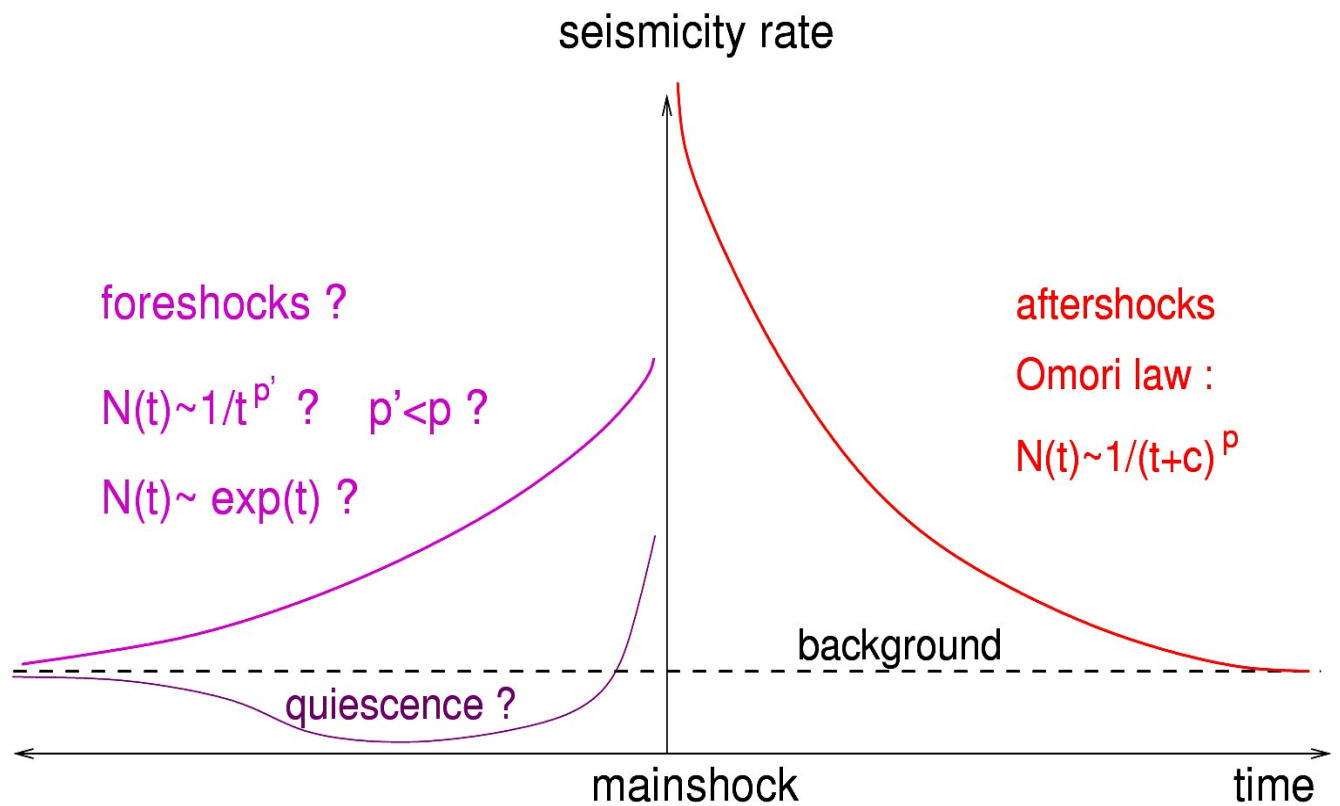
Wyk 14. Samopodobność

Na wyk 14. widzimy, że zmiana skali (osie y) nie zmienia kształtu krzywej. W ten

sposób znowu potwierdza się teza o fraktalności tego rodzaju danych statystycznych.



Wyk 15 Wstrząsy przed i po



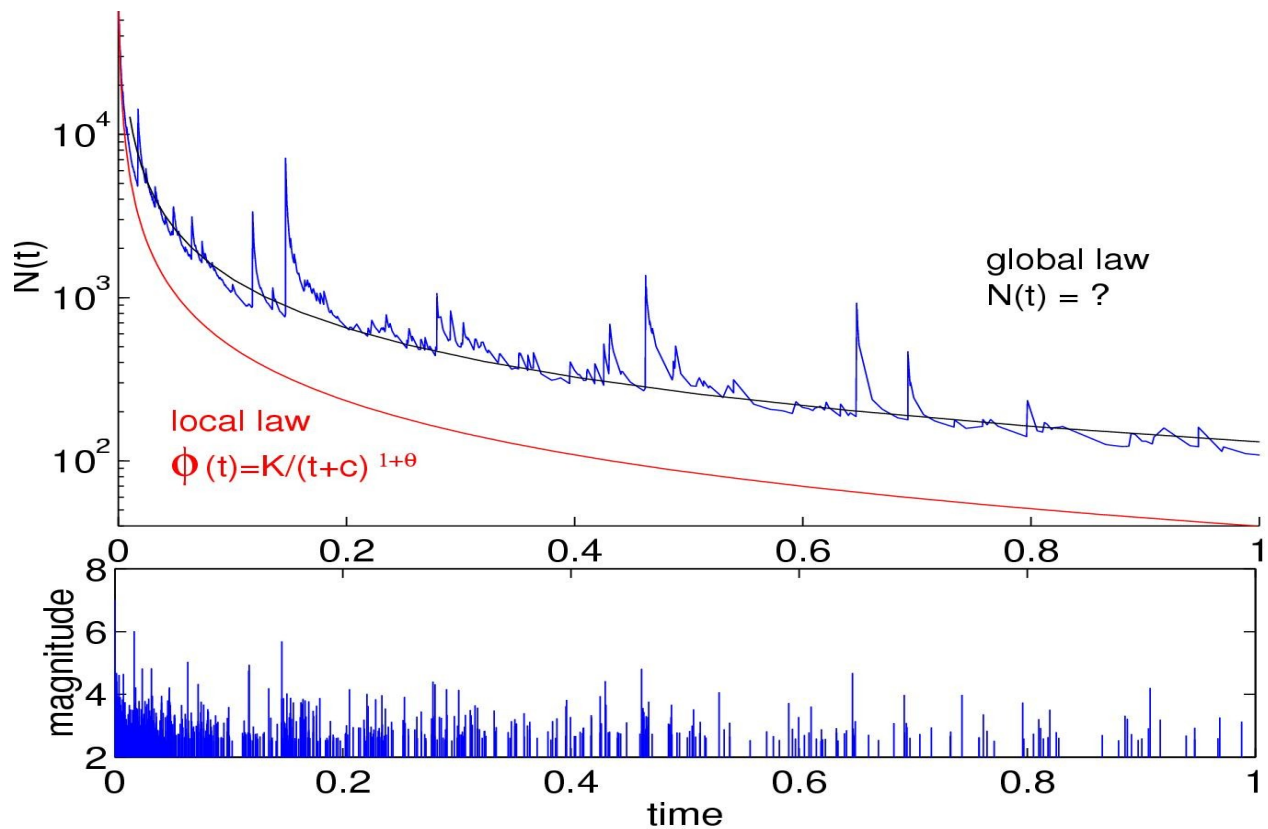
Wyk 16 Wstrząsy przed i po- schemat

Z próbą uogólnienia występowania wstrząsów poprzedzających (wyk 16.) jest problem, bo każde trzęsienie ma innej postaci foreshocks (czasami nie ma ich wcale- cisza przed burzą)

Modele przewidywań EQ

Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS)

każdy shock powoduje kolejne zgodnie z prawem Omori.

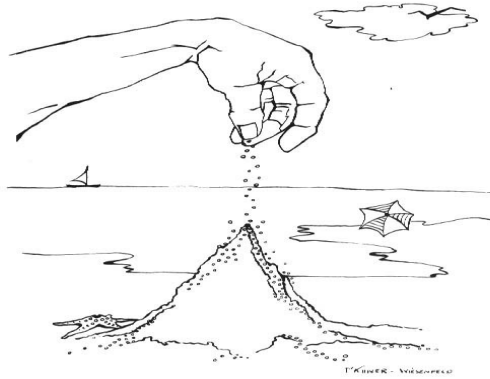


Wyk 17 Model ETAS przewidywania trzęsień

Dane do tego modelu generowane były komputerowo. Problemem tego modelu było słabe odzwierciedlenie praw lokalnych przez prawa globalne.

SOC Samoorganizująca się krytyczność

Kiedy układ złożony samorzutnie (bez udziału czynników zewnętrznych) ewoluuje w kierunku przejścia fazowego. Przykładem jest górka suchego piasku. Jedno ziarenko rzucone na szczyt może spowodować lawinę (przejście fazowe). Po lawinie kopczyk zostaje przywrócony do porządku tzn. ma kąt.34.



Model QT z SOC

$$\log_{10} N(M > m) = a - bm$$

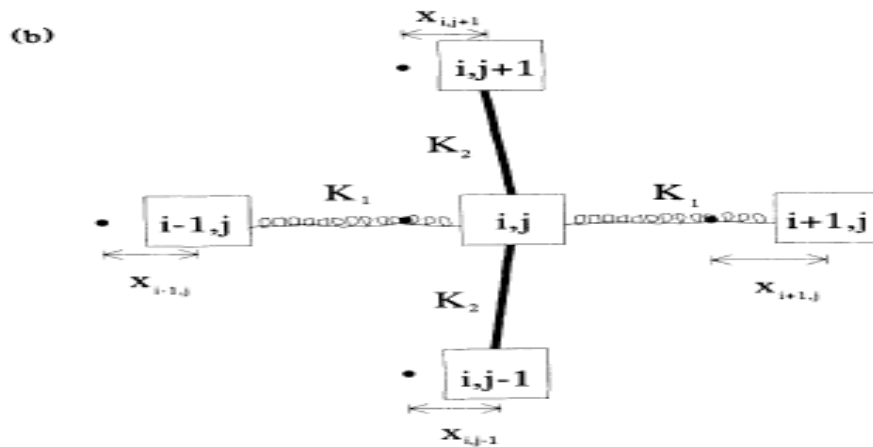
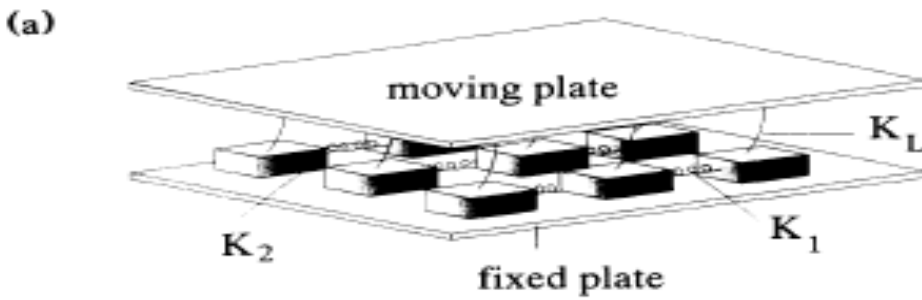
Wiemy, że magnitudę możemy przekształcić wzorami z w energię.

$$\log_{10} E = c + dm$$

$$N(E_0 > E) \sim E^{-b/d} = E^{-B}$$

Po kolejnych poprawkach otrzymamy teoretyczny rozkład trzęsień o energii większej niż pewna energia odniesienia, Gdzie parametr B dla danych empirycznych jest z zakresu (0,8;1,06)

Cały model polega na oddziaływaniach sprężystych mechanizmów pomiędzy dwiema płytami.



Model jest automatem komórkowym mającym symulować prawdziwe trzęsienie ziemi.

Wnioski z modelu:

α - współczynnik sprężystości w modelu

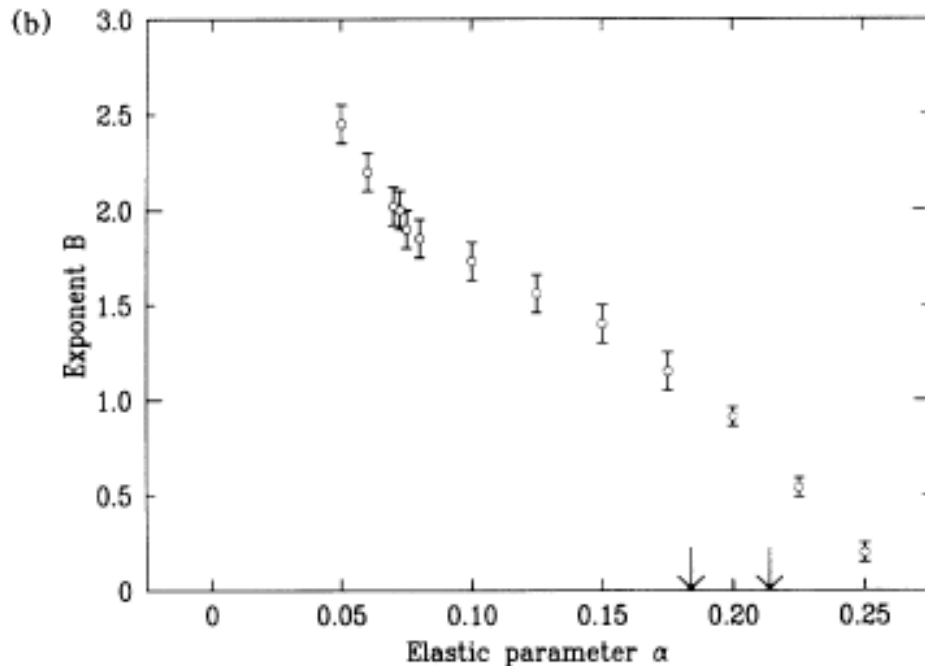


FIG. 2. (a) Simulation results for the probability density of having an earthquake of energy E as a function of E for a 35×35 system. The curves correspond to $\alpha = 0.25, 0.20, 0.15,$ and 0.10 . The slope of the curves becomes steeper as the α value is decreased. (b) The power-law exponent B as a function of the elastic parameter α . The level of conservation is 4α . Notice the sudden change of the B value around $\alpha = 0.07$. Below $\alpha = 0.05$ there is a transition to exponential decay. The arrows indicate the actual measured B values for earthquakes [7].

Widzimy jak wygląda funkcja wykładnika B w zależności od α (na wykresie b) .

Żeby trafić w okolice $\alpha \sim 0,20$. Dane są dla siatki 35×35 . Poniżej widzimy jak

wygląda zależy prawdopodobieństwo wystąpienia od energii (wykres a)

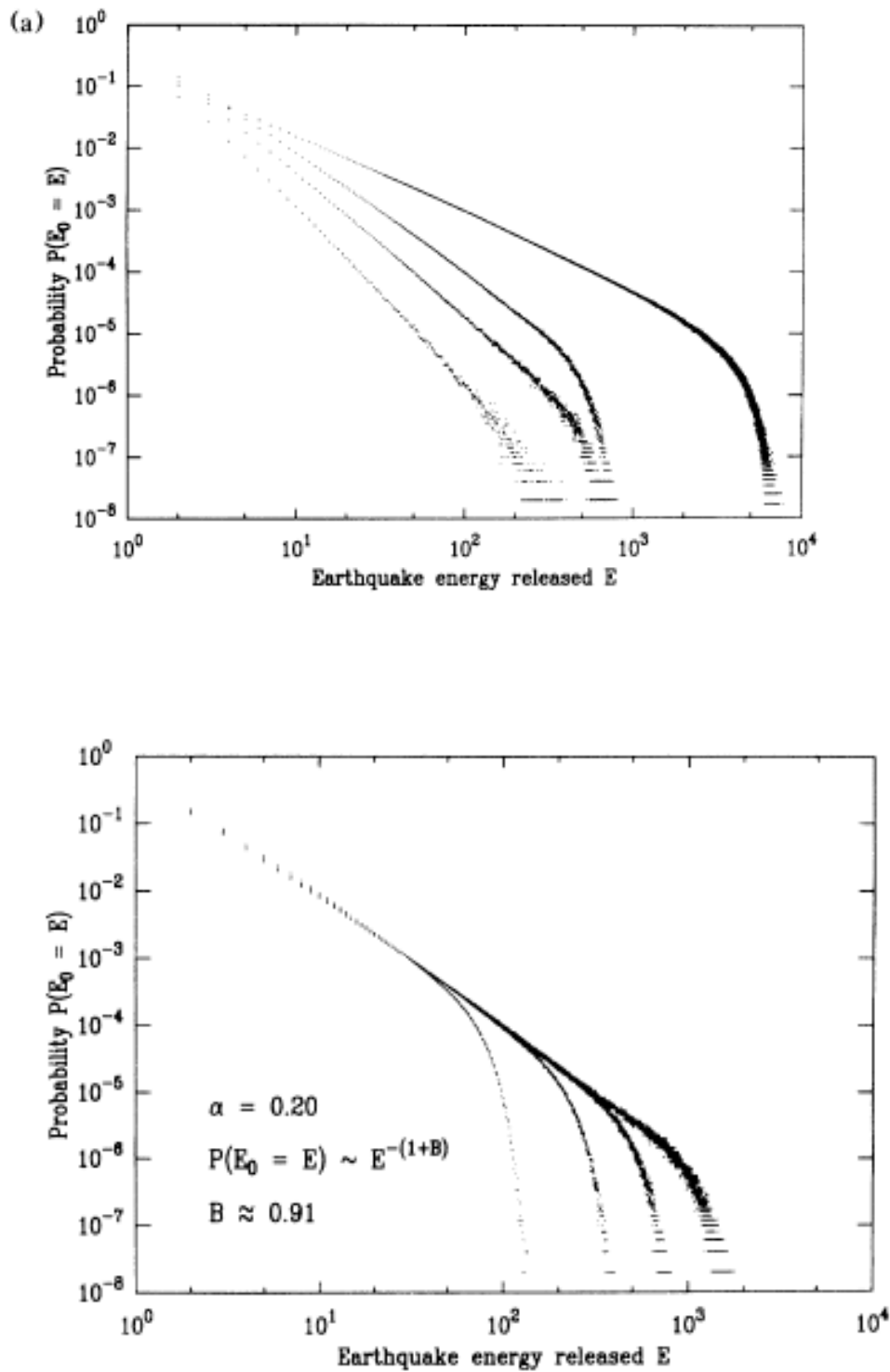


FIG. 3. The probability density of having an earthquake of energy E as a function of E for $\alpha = 0.20$. The different curves refer to different system sizes $L = 15, 25, 35,$ and 50 . The cutoff in energy distribution scales with $L^{2.2}$.

Powyżej mamy zależność prawdopodobieństwa od energii dla różnych sieci (L).

Opisując krytyczność spotkamy się z takimi pojęciami:

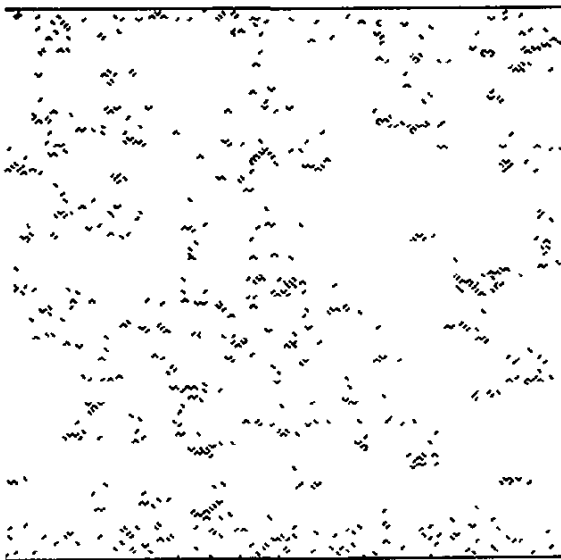
Fraktalna geometria

Ruch Browna

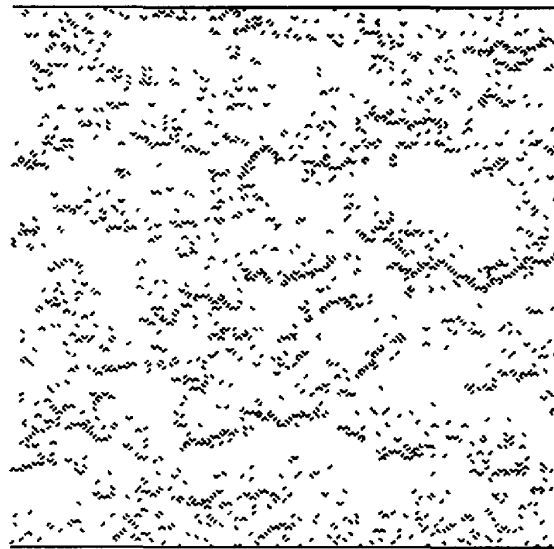
Korelacje

Grupa Renormalizacyjna

Teoria Landaua

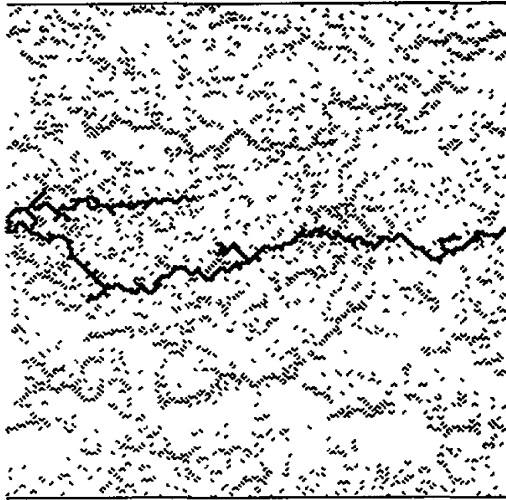


$f=50\%$ $t/t_c=0.9912$



$f=80\%$ $t/t_c=0.9982$

Wyk 18 Tak wygląda dynamika perkolacyjna



$f=100\%$ $t/t_c=1$.

dla zbliżania się do przejścia krytycznego jakim jest trzęsienie.

Inne sposoby przepowiadania trzęsień

Emisja Radonu

Aktywność elektryczna

fale elektromagnetyczne, fale z jonosfery

Woda i chemia

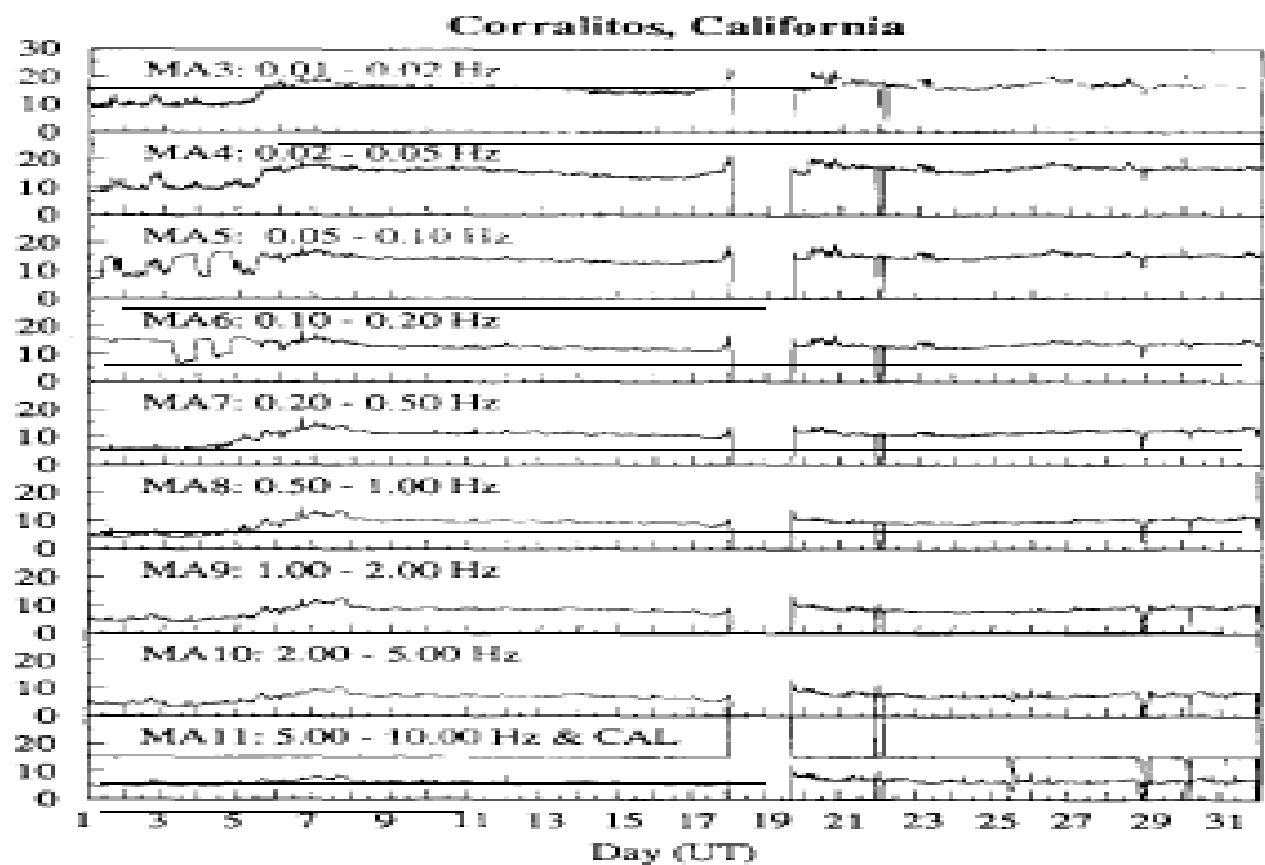
Prędkość fal sejsmicznych

Do tego typu wniosków dochodzili naukowcy obserwując różne znaki „na ziemi i niebie”, które występowały wspólnie z trzęsieniami. Wiele wniosków jest naukowo nie potwierdzona. Panuje dosyć powszechne twierdzenie, że zwierzęta są w stanie

wyczuć zbliżające się trzęsienie. Problem z takimi spostrzeżeniami jest taki, że ciężko jest je naukowo zweryfikować. Dochodzą jednak informacje, że np. przed trzęsieniem w Chinach mrówki pewnego gatunku opuściły obszar dotknięty kataklizmem.

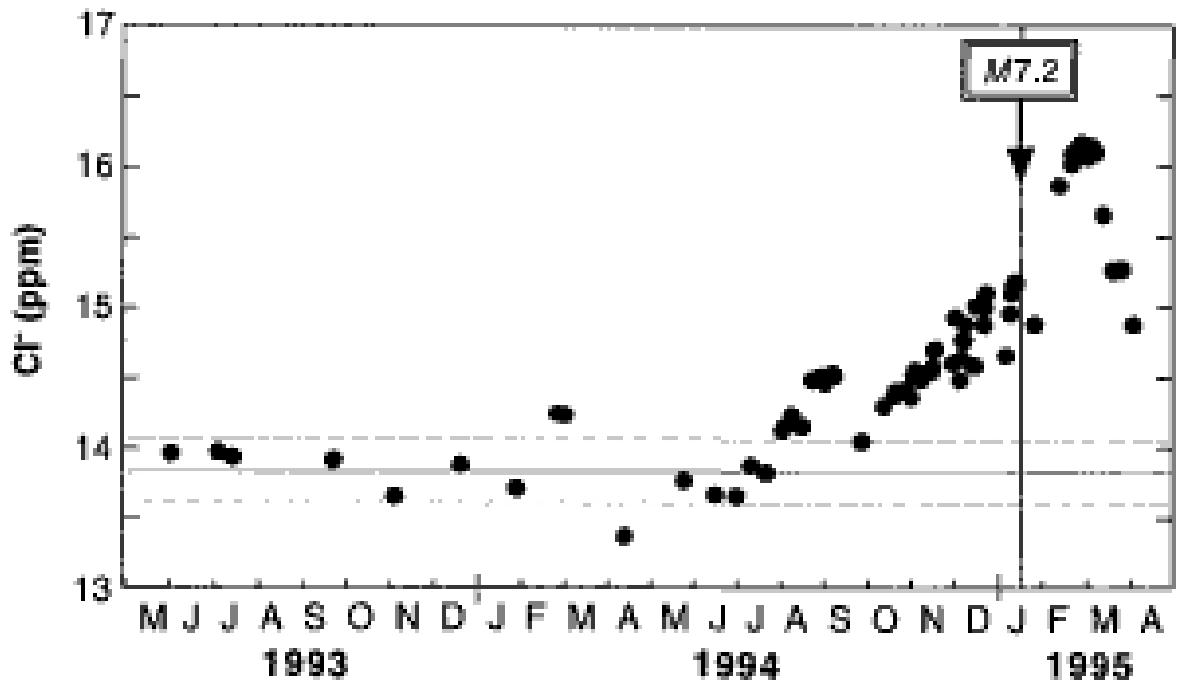
Przykład 1)

Przed trzęsieniem w Lomie ('89) w Kalifornii występowały dosyć duże fluktuacje w polu magnetycznym ziemi.



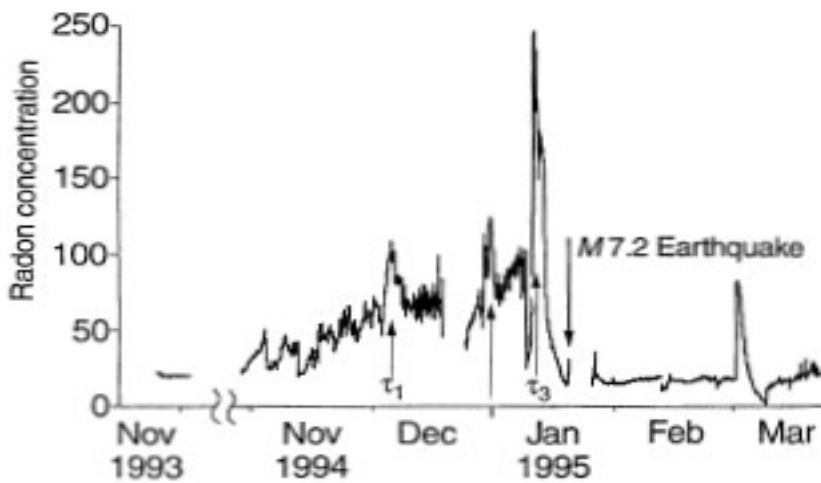
Przykład 2) Butelkowa historia Kobe ('95)

Przed trzęsieniem wystąpił niewytłumaczalny wzrost stężenia chlorków w wodzie.



Przykład 3) Radon Kobe ('95)

Radon jest radioaktywnym gazem emitowanym przez skały.



Widzimy pik w momencie wystąpienia trzęsienia.

6) Log-periodyczne oscylacje

Potraktujmy krach jako przejście fazowe drugiego rodzaju.

Niech $\tau = t - t_c$ to czas pozostały przed krachem.

- daleko od krachu $\tau \gg 0$

$$\Delta p(t) = p(t + \Delta t) - p(t) \approx \left(\frac{1}{\tau}\right)^m \Delta t$$

rozwiązując

$$p(t) = \begin{cases} A - B \ln(t_c - t) & \text{dla } m = 1 \\ A - B(t_c - t)^{-m+1} & \text{dla } m \neq 1 \end{cases}$$

- blisko krachu $\rightarrow 0^+$

$$\frac{dp}{p} : \frac{d\tau}{\tau} = \text{const.} = \beta + i\omega$$

$$\beta = 0$$

rozwiązując

$$p(t) = B' + C \cos(\omega \ln(t_c - t) + \varphi)$$

Sklejamy funkcje daleko od krachu i blisko od krachu i otrzymujemy:

Rozwiązanie ogólne

$$p(t) = A - B \ln(t_c - t) \left[1 + C \cos(\omega \ln(t_c - t) + \varphi) \right]$$

Zakłada się, że bezpośrednio przed krachem wymiar fraktalny szeregu **rośnie**.

Już wcześniej wprowadziliśmy sobie to pojęcie, ale przypomnijmy jeszcze raz:

Wiąże się on z wykładnikiem Hursta-Hausdorfa

$$D = 2 - H$$

Kiedy nastąpi przyjdzie krach na WSE (Warszawska Giełda)?

Na to pytanie próbowaliśmy odpowiedzieć za pomocą powyższych narzędzi w ramach seminarium licencjackiego.

„Dofitowane” parametry

$$A = 2.057 \times 10^6$$

$$B = -1.958 \times 10^6$$

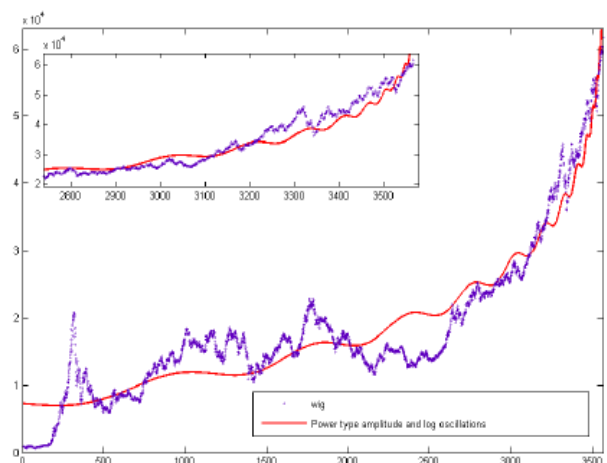
$$C = -0.0005447$$

$$m = 0.005614$$

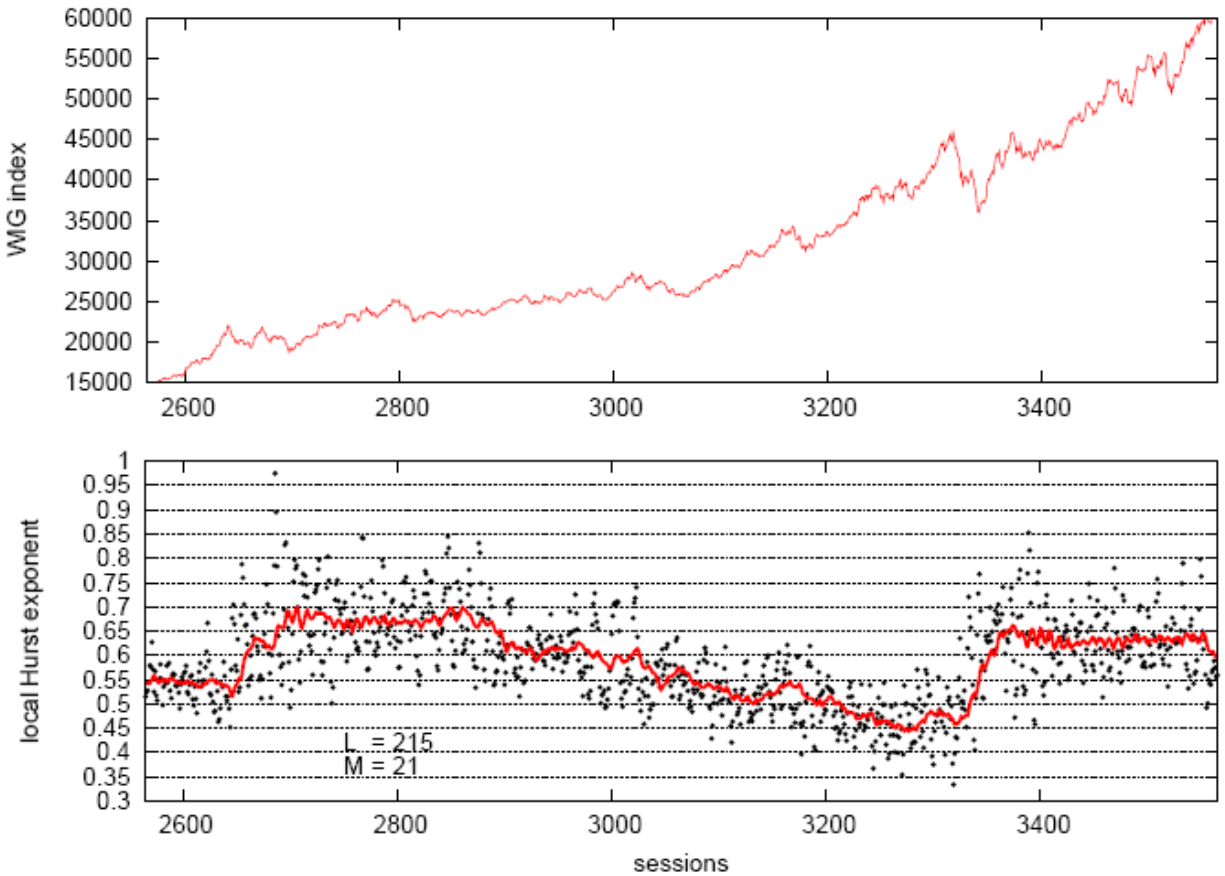
$$\omega = 16.19$$

$$\phi = -146.5$$

$$t_c = 3583$$



Wyk 19 Log-periodyczne dofitowanie (Łukasz Czarnecki)



Wyk 20 Lokalne wykładniki Horsta (Grzegorz Pamuła)

Z tych obliczeń wynika, że jesteśmy w tym momencie w trakcie bąblowego wzrostu i lada chwila szykuje się korekta do stanu podstawowego. Powyższe badania zostały wykonane w maju i czas krachu t_c przypada na koniec czerwca. Nie oznacza to jednak, że bezwzględnie wydarzy się coś strasznego. Póki co gospodarka sama nakręca się i nie ma przesłanek ku katastrofalnym wydarzeniom. Jednak system jest teraz w stanie wzbudzonym i nawet niewielkie zawahanie może pociągnąć za sobą kryzys.