Desktop Toys for Educational Seismology -Random or Periodic? Before or After?-

Yoshio Okamoto

Tennoji high school attached to Osaka Kyoiku University,
4-88 Minamikawahori, Tennoji-ku, Osaka-city,
Japan 5430054
Yossi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp
http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~yossi

Background

- The misunderstanding of natural disasters, particularly for earthquakes, is mainly caused by the gap between seismologists and the public.
- In Japan, there are many "earthquake prediction sites" by amateurs, most of which have no scientific basis.
- In the Japanese high-school textbooks, they treat

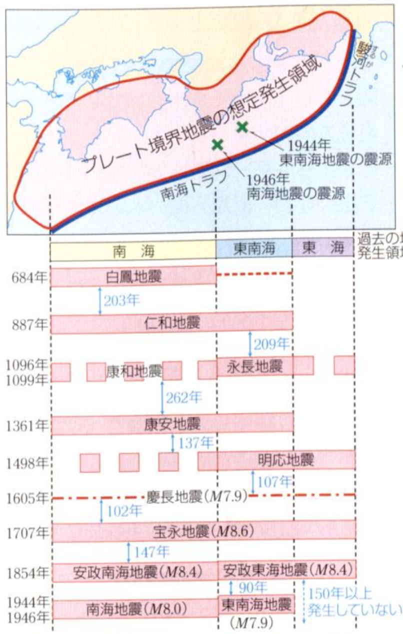
<High-spec seismology> such as "the Asperity model(Lay & Kanamori,1982) " or "the Characteristic earthquake model (Schwartz et.al1984)".

- The Japanese gov. has made "the national seismic hazard maps" based on the above model for a long time.
- But, the above models are now in controversy by seismologists.
- On the other hand, statistic behaviors of earthquakes such as famous "The Gutenberg-Richter's law" is omitted.


"Hi-spec" sometimes causes
too much of a good.

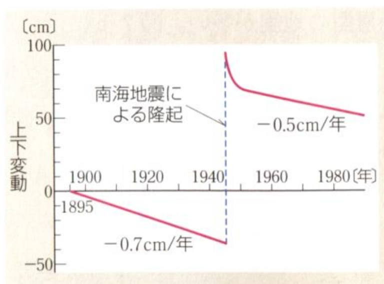
◉弧―海溝系の地震◉　日本のような弧―海溝系では，p.66 図 2 のように非常に多くの地震が発生している。地球上で発生している地震は，このようにプレートの沈み込み境界で発生するものが中心である。特に注目すべきものの 1 つとして，海溝やトラフのすぐ陸側でくり返し発生しているマグニチュード 8 クラスの巨大地震がある。図 8 は南海トラフ沿いで発生した地震についてまとめたものであるが，ここではフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下へ沈み込むのに伴い，図 8 のようにくり返し地震が発生していると考えられている。この地震の発震機構は逆断層型である。

プレートの収束境界である海溝の陸側では，図 9 のように沈み込みに伴いゆっくりと沈降し，地震の際に急激に隆起するような地殻変動が起こるのが特徴である。ただし，海溝からある程度離れた地域では逆に沈降する場合もある(図 10)。このような地震は**海溝型地震**[a]とよばれる。震源域が海域であるため津波(→p.270)の発生を伴うことが多く，過去にくり返し大きな被害をもたらしてきた。



▲図 8　南海トラフ沿いで発生するプレート境界地震の震源域の分布と過去の地震

■の帯は確実なもの，帯が飛び飛びの部分はほぼ確かなもの，細い破線は可能性があるものを示す。点破線は津波地震を示す。



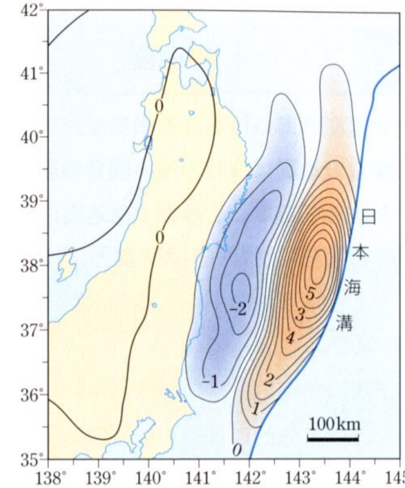
▲図 9　1946 年の南海地震前後の室戸岬での地殻の上下変動

通常は沈み込みに伴い沈降し，地震時に急激に隆起する。

a) interplate (mega) thrust earthquake

▲図 10　2011 年の東北地方太平洋沖地震による沈降の様子(宮城県亘理町)

地震による津波が引いた後も，沈降した地域は海水につかったままとなった。

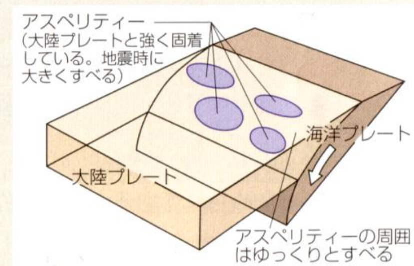


▶図 11　2011 年の東北地方太平洋沖地震による地殻の上下変動

地殻変動の単位は m。モデルからの推定値である。赤色は隆起した地域，青色は沈降した地域を示す。

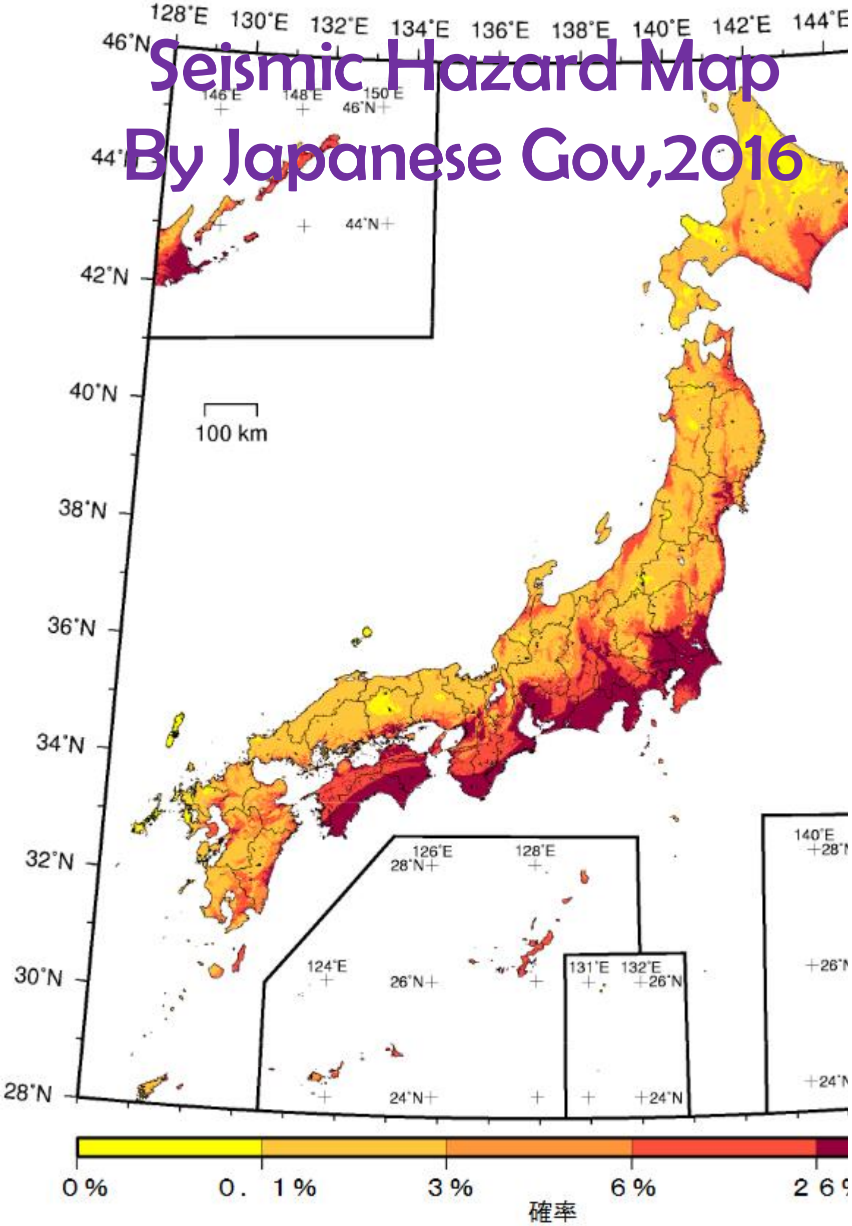
参考　アスペリティーとゆっくりすべり

プレートの沈み込みに伴い大陸プレートと海洋プレートの境界に蓄積した歪みが，瞬時に解放されるのが海溝型の巨大地震である。その境界面(＝断層面)には固着している部分(アスペリティー)と，普段からゆっくりとすべっている部分があると考えられている。アスペリティーが急激に大きくすべるときに巨大地震が発生する。プレートは年間数〜10 cm ほど動いているので，例えば 50 年間に蓄積された歪みが解放される場合，アスペリティーでは瞬時に数 m もすべることになる。ゆっくりすべりの例としては 2000〜2005 年に浜名湖付近で観測された「東海スロースリップ」がある。5 年間に 10〜20 cm ほどプレート境界面に沿ってゆっくりすべりが起こり，マグニチュード 7.1 の地震に相当するエネルギーが解放されたと考えられている。



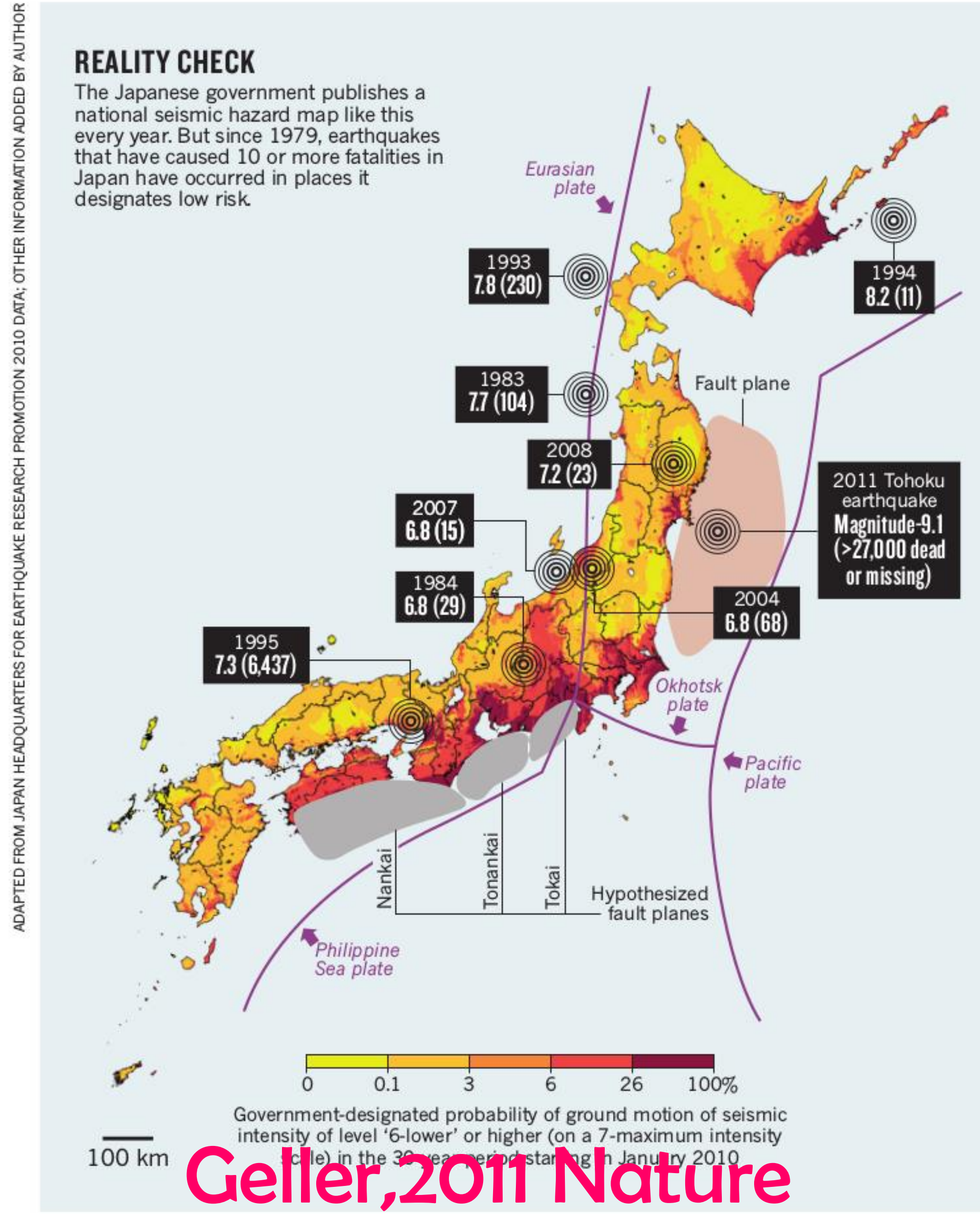
2011 年 3 月 11 日に起きた東北地方太平洋沖地震(マグニチュード 9.0)では，ふだんゆっくりすべりが起きている領域でも地震すべりが起き，大きな歪みが蓄積されていたことが明らかになった。このことは単純なアスペリティーとゆっくりすべりの関係だけでは，プレート境界での歪みの蓄積過程が説明できていないことを示し，今後の課題となっている。

Geoscience Textbook for Senior high.
（Keirinkan,「Chigaku」,2013）



（ モデル計算条件により確率ゼロのメッシュは白色表示

確率論的地震動予測地図：確率の分布
今後 30 年間 に 震度 6 弱以上 の揺れに見舞われる確率
（ 平均ケース・全地震 ）



408 | NATURE | VOL 472 | 28 APRIL 2011

Kagan et.al,2012 SRL also contradicts "the characteristic EQ model"

OPINION

Characteristic Earthquake Model, 1884–2011, R.I.P.

A precept of science is that theories unsupported by observations and experiments must be corrected or rejected, however intuitively appealing they might be. Unfortunately, working scientists sometimes reflexively continue to use buzz phrases grounded in once-prevalent paradigms that have been subsequently refuted. This can impede both earthquake research and hazard mitigation.

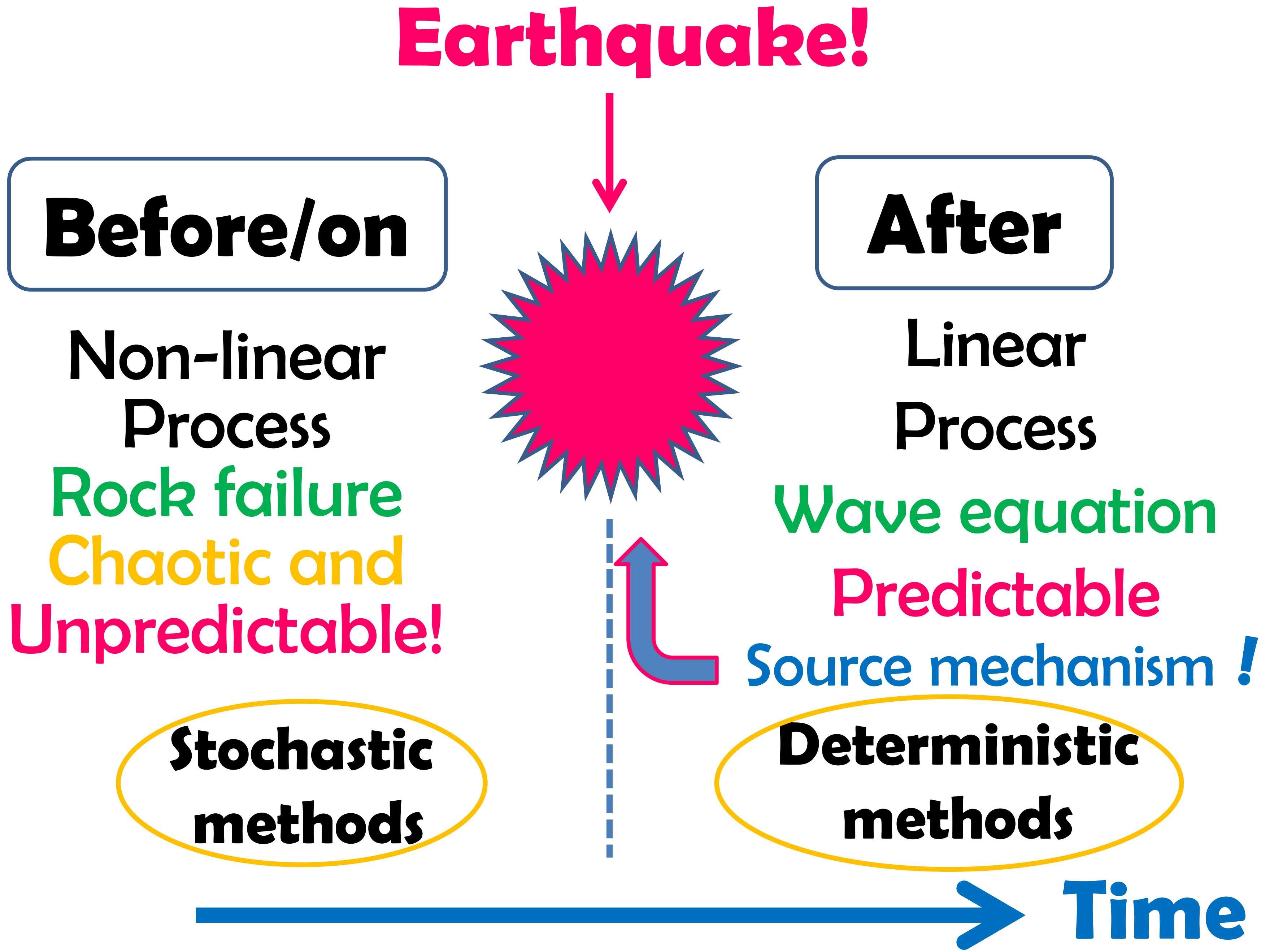
Well-worn seismological buzz phrases include "earthquake cycle" (66 instances recorded in the ISI Web of Science database for the period 2009–2012), "seismic gap" (84), and "characteristic earthquake" (22). And the grand prize goes to…"seismic cycle," with 88 hits. Each phrase carries heavy baggage of implicit assumptions. The primary assumption loading these phrases is that there are sequences of earthquakes that are nearly identical except for the times of their occurrence. If so, the complex process of earthquake occurrence could be reduced to a description of one characteristic earthquake plus the times of the others in the sequence. Often, such a characteristic earthquake sequence is assumed to

All of us in earthquake science must wake up to the problems caused by relying on selected data. Arbitrarily chosen data sets are fine for formulating hypotheses, but not for validating them.

Andreas fault," "near Parkfield," and "about magnitude 6." Much attention was paid to the fact that no qualifying event occurred before 2004 (11 years after the end of the prediction window), but little was focused on the ambiguities of what was predicted. Any event with magnitude between 5.5 and 7.5 and rupture length over 20 km would arguably have satisfied at least some of the published descriptions.

Jordan (2006) pointed out that a scientifically valid hypothesis must be prospectively testable. Ironically, his article made the untestable assertion that "the northern San Andreas is entering a mature stage of the Reid cycle." Buzz phrases die hard. Retrospective analyses cannot provide a rigorous foundation for any model of earthquake occurrence including, but not limited to, the "seismic cycle." Even the simplest spatial window, a circle, has three degrees of freedom for its characterization. The famous mathematician and physicist John von Neumann remarked that with four parameters he could "fit an elephant…" (Dyson, 2004). Furthermore, retrospective searches of seismicity patterns can usually find seemingly significant features in completely random simulations (Shearer and Stark, 2012).

The case of Parkfield shows how retrospective analysis can mislead. The presumed characteristic earthquakes were


Earthquake!
Before/on
Non-linear
Process
Rock failure
Chaotic and
Unpredictable!
Stochastic
methods
After
Linear
Process
Wave equation
Predictable
Source mechanism !
Deterministic
methods
Time

Origin of misunderstandings

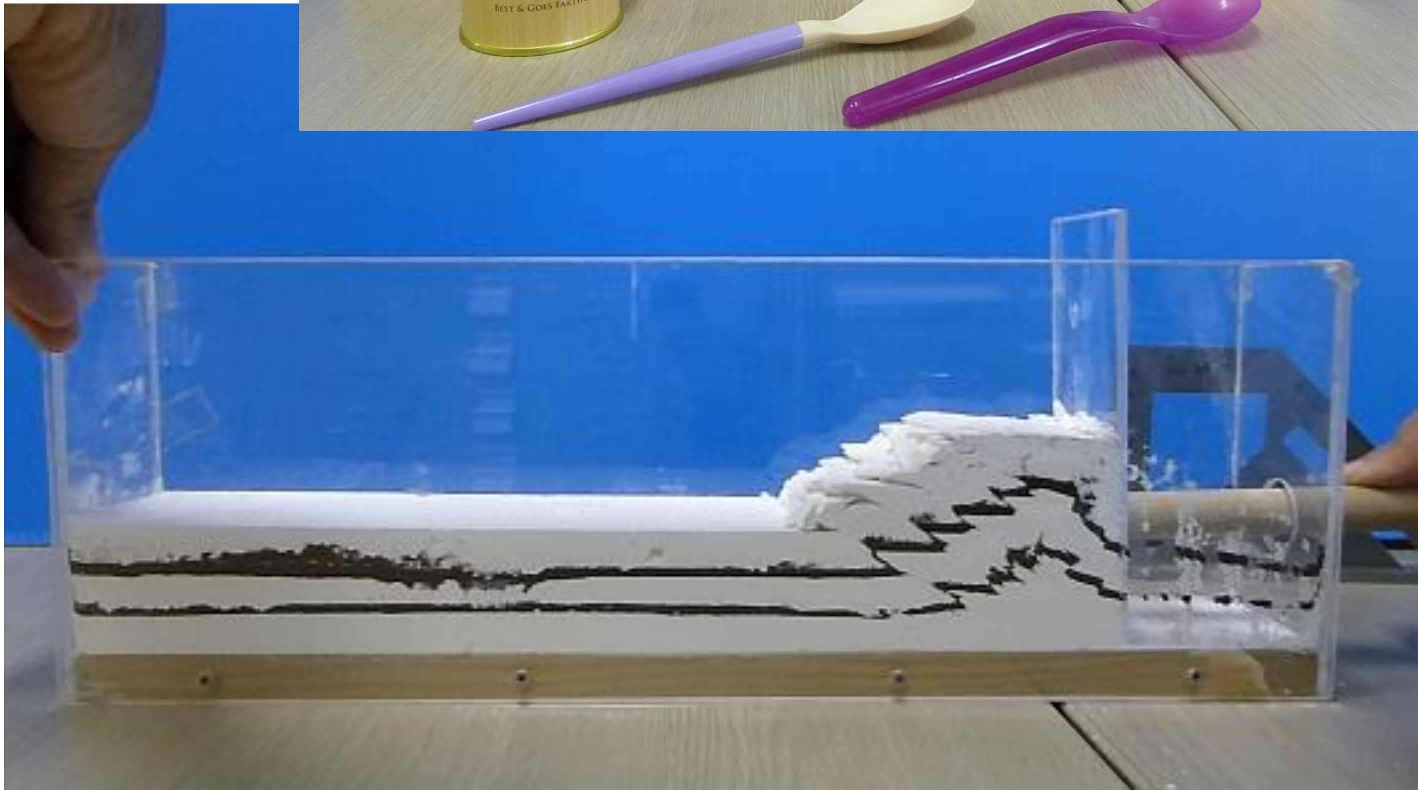
- If an earthquake occurs. (After quake)
- Reversely, We estimate the focus/focal mechanism/fault dimension/etc..
- We also forecast the wave (tsunami) propagation and seismic hazard!
- But this is not the prediction of an EQ!
- However, these processes sometimes confound with each other.
- And this is one of origin of misunderstanding.

Apart from ‘Hi-spec’
We should teach
‘Fundamental’ seismology!

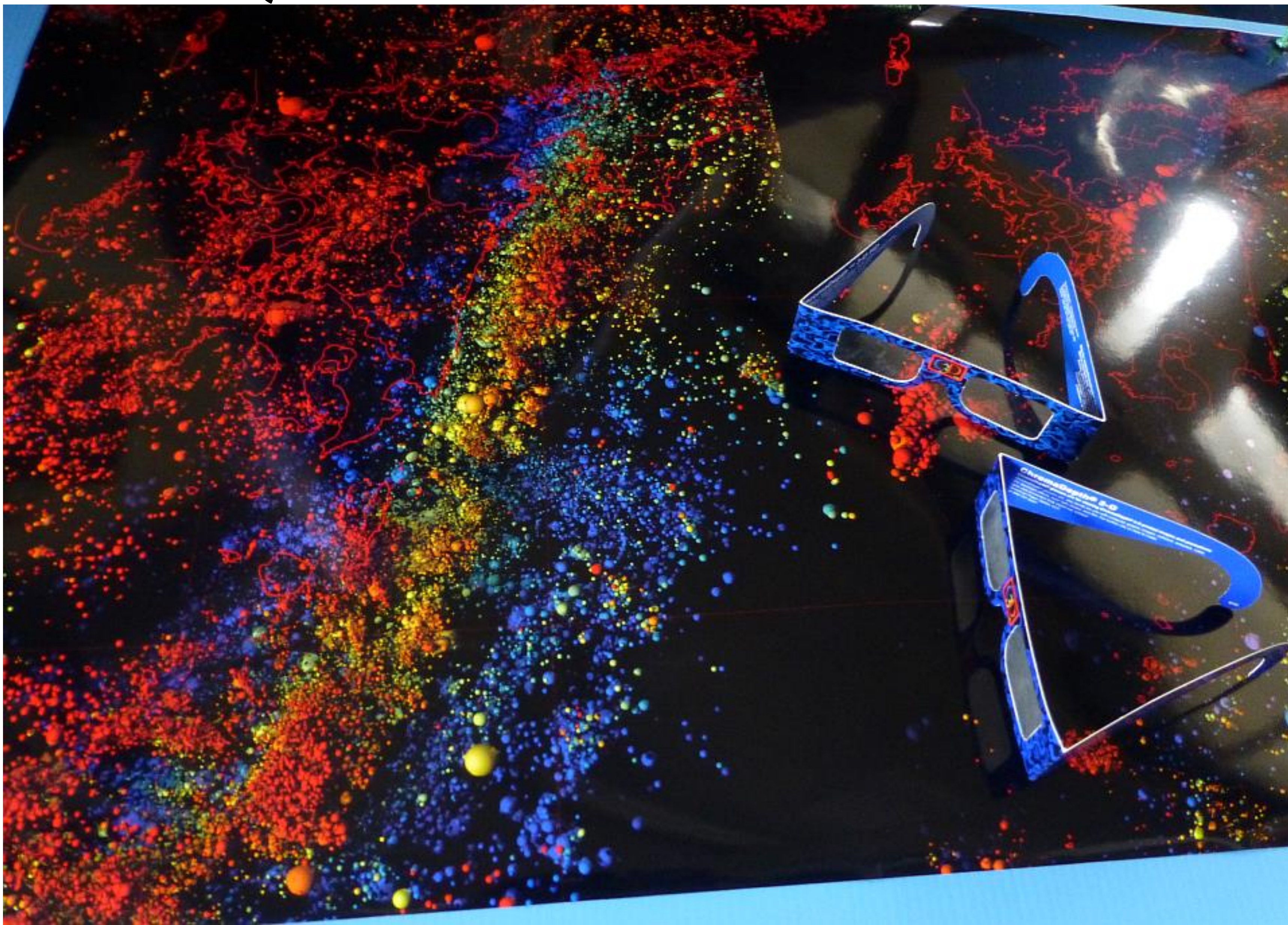
i) Fault dislocations
ii) Propagation of seismic waves
iii) Power law behaviors

Previous studies;

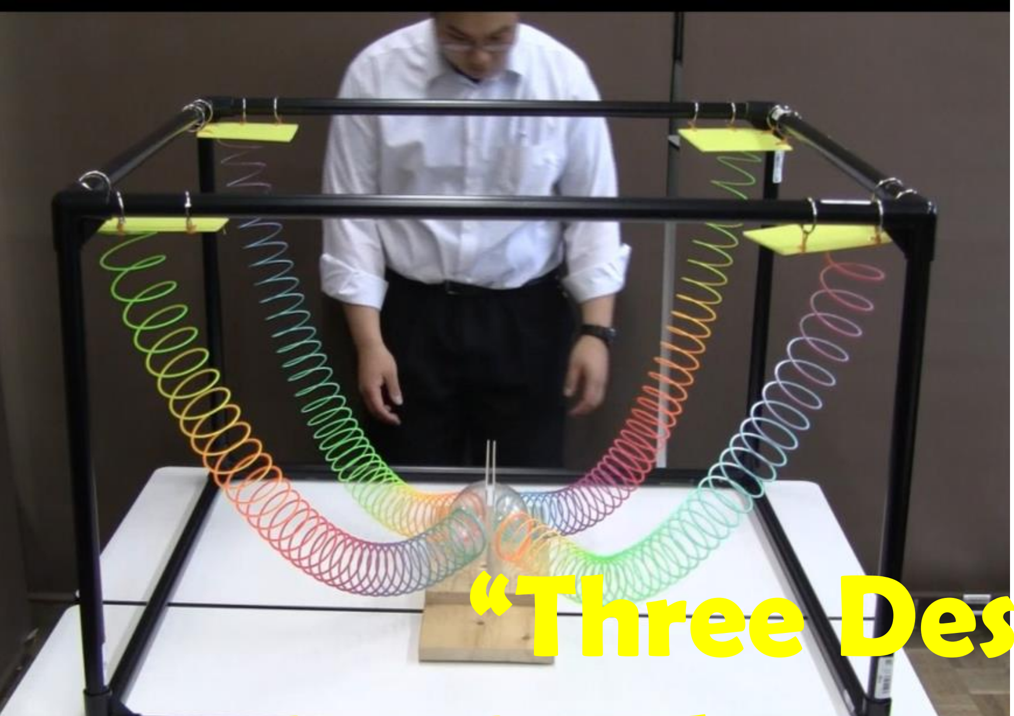
- Flour & cocoa fault model(Okamoto,2003)



- 3D seismic maps using ChromaDepth Glasses(Okamoto,2008)

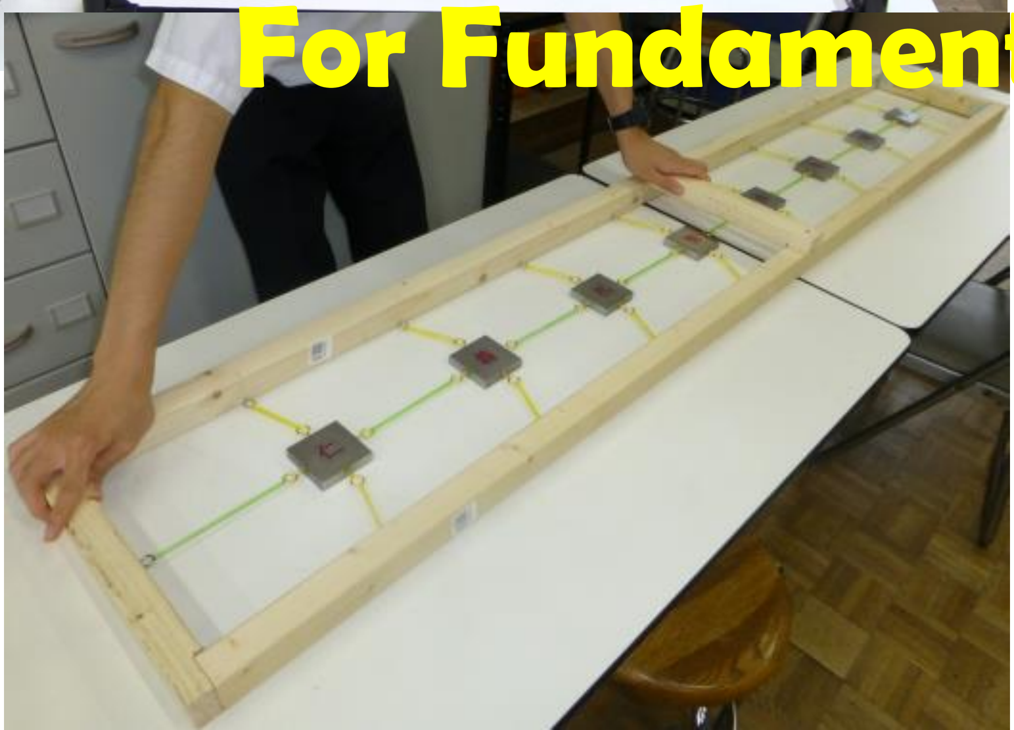


“Three Destop Toys!!
For Fundamental Seismology



Seismic fault
+ Slinky model

Piggy Bank model

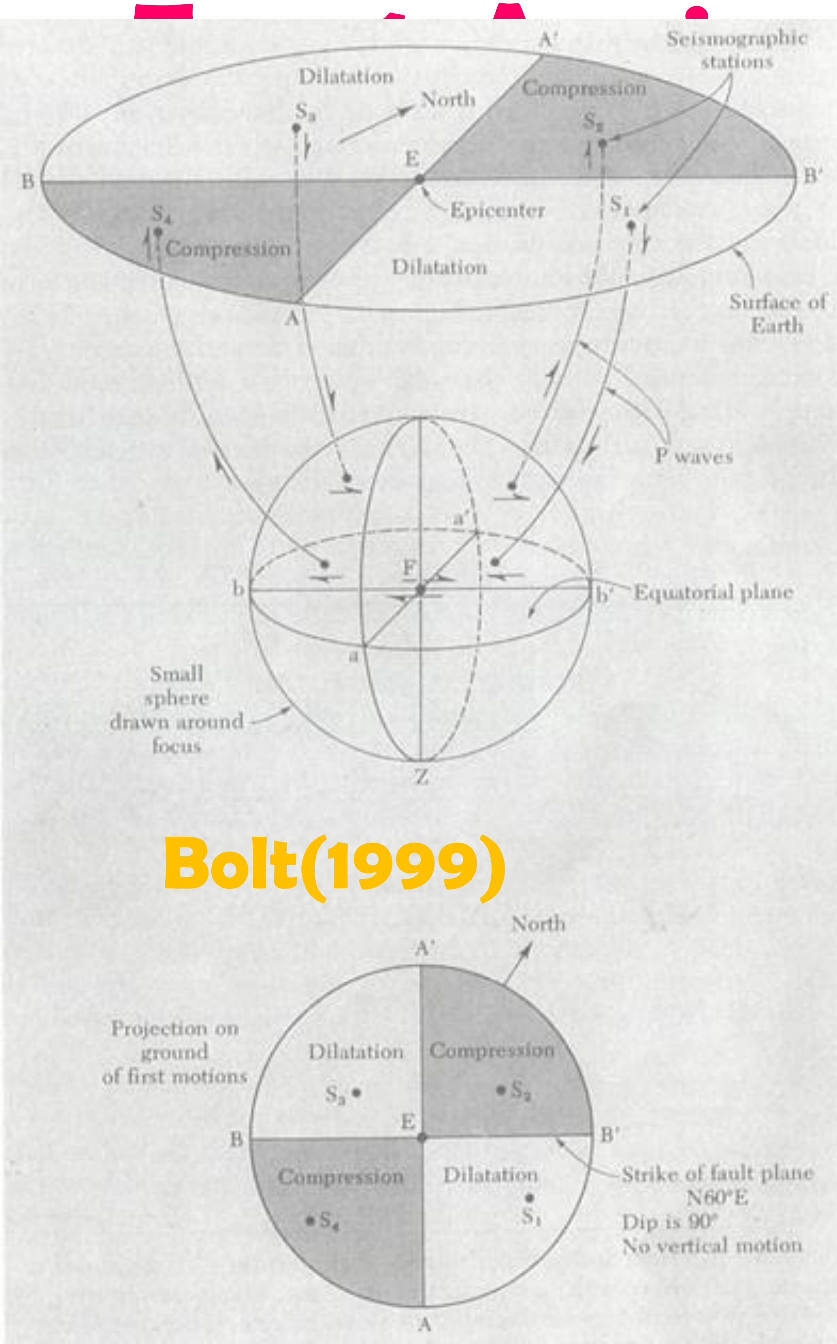


Spring-Block model

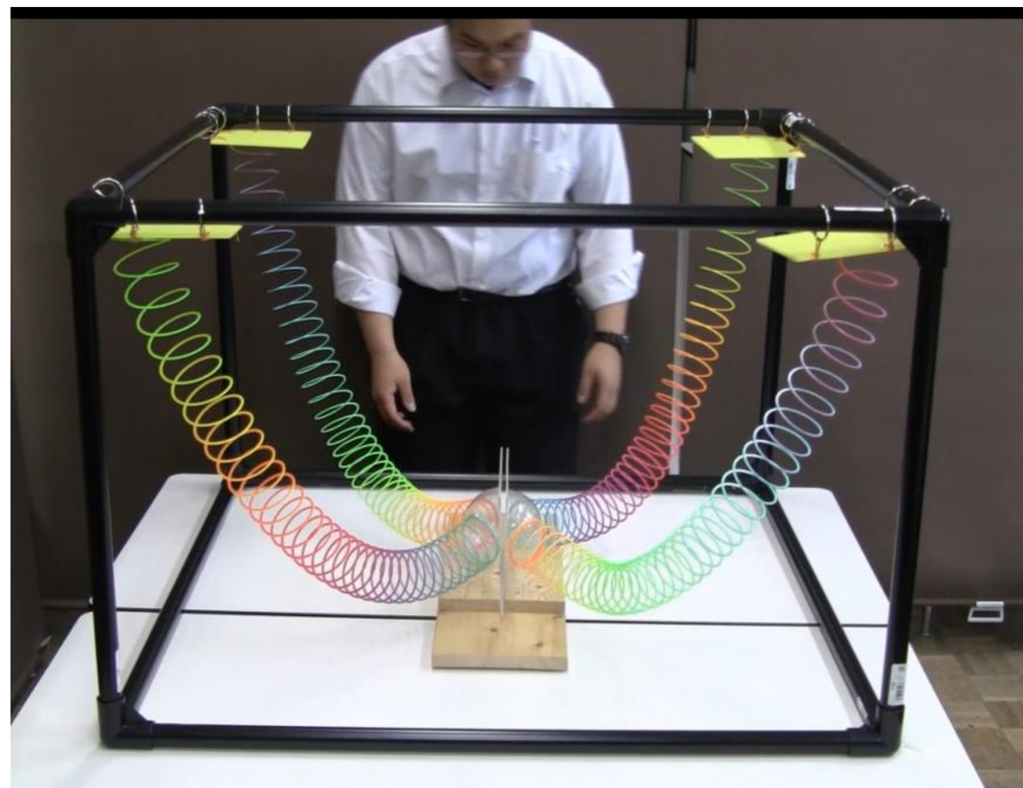
Q_1: How does an earthquake occur?

- How and Why does an earthquake occur?
- Fault and Earthquake
- How do seismic waves propagate?
- What is a quadratic pattern of P-arrival phases?

…ic fault model
…ent spheres +
…rings



Bolt(1999)



Japanese High School Textbook（Keirinkan,「Chigaku I」）

P-arrival phases: a quadrant pattern and a fault geometry

地震波の初動

観測地点に最初に到着する波はP波(縦波)であるから，観測地点での地面の最初の動き(**初動**)は，図12のように震源から外に向く**押し波**か，震源の側に向く**引き波**のどちらかになる。

図12 地震の初動の押し波と引き波

図13はある地点で3台の地震計が南北・東西・上下のそれぞれの動きを記録したものである。その地点での初動は図13(a)の記録から北に，(b)の記録から西に，(c)の記録から上に向いていたことがわかる。したがって初動はそれらを合成した方向，すなわち図12の赤色の太矢印のように，北西方向で斜め上方を向いていたことになる。このことは，震源が南東方向斜め下にあり，初動はその震源から押されたような向き(押し波)であることを意味している。

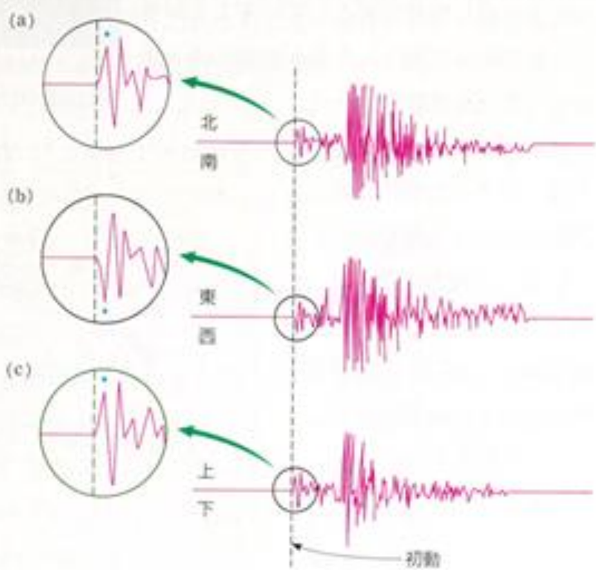


図13 地震計の記録
図12で初動が赤色でぬられた矢印の場合，すなわち初動が北西への押し波で，震源が南東の地下にある場合の地震計の記録。初動は南北・東西・上下それぞれ，拡大図中に青点で示した波の向きから読みとれる。

震源での断層運動 地震による震源での断層の動きは地震波の初動分布や地表に現れた地震断層の様子などから推定される。図14に兵庫県南部地震の初動分布と，震源での断層運動の関係を示す。

図14 兵庫県南部地震の初動分布(a)と推定された震源での断層運動の模式平面図(b) (a)の初動分布の2つの境界線のうち北東ー南西方向の線が震源での断層運動の方向と推定されている。

地殻の浅い部分で大きな地震が起こると地震を起こした断層の一部が地表まで達することがある。地震のとき地表に現れた断層を**地震断層**という(図15)。地震断層は過去にくり返し地震を起こしていることが多い。第四紀に活動し，今後も活動すると思われる断層を**活断層**という。

図15 兵庫県南部地震で地表に現れた野島断層(淡路島)

活断層は大きな地震がくり返し起こった場所であり，活断層による土地の上下のくい違いが積み重なると，大きな高度差となって地形に現れる。図16に大阪湾周辺の主な活断層を示す。

(⇨ p.31 観察2)

図16 大阪湾周辺の活断層

Another Textbook
（Sukenshuppan,「Chigaku」）

参考　震源メカニズム

地震を起こした断層がどのように動いたかという，地震波が発生するメカニズムのことを震源メカニズムという。一般に，断層運動は，地震が発生した地点の力の状態を反映している。断層が地表に到達している場合，地表調査により，どのタイプの断層かを調べることができる。

しかし，断層は地表に到達していない場合が多く，地表調査からは断層運動について調べることは困難である。このようなときは，地震波形からどのような断層運動だったか推定することができる。

図Bのように断層が動いたときについて考える。

まず，領域AとCを通るP波を考える。断層のずれにより，押し出される領域なので，疎密波であるP波の初動は，外に押し出される形となる。逆に，領域BとDを通るP波の初動は，中に引きこまれるような形になる。つまり，押し引き分布により，4つの領域に分けることができる。

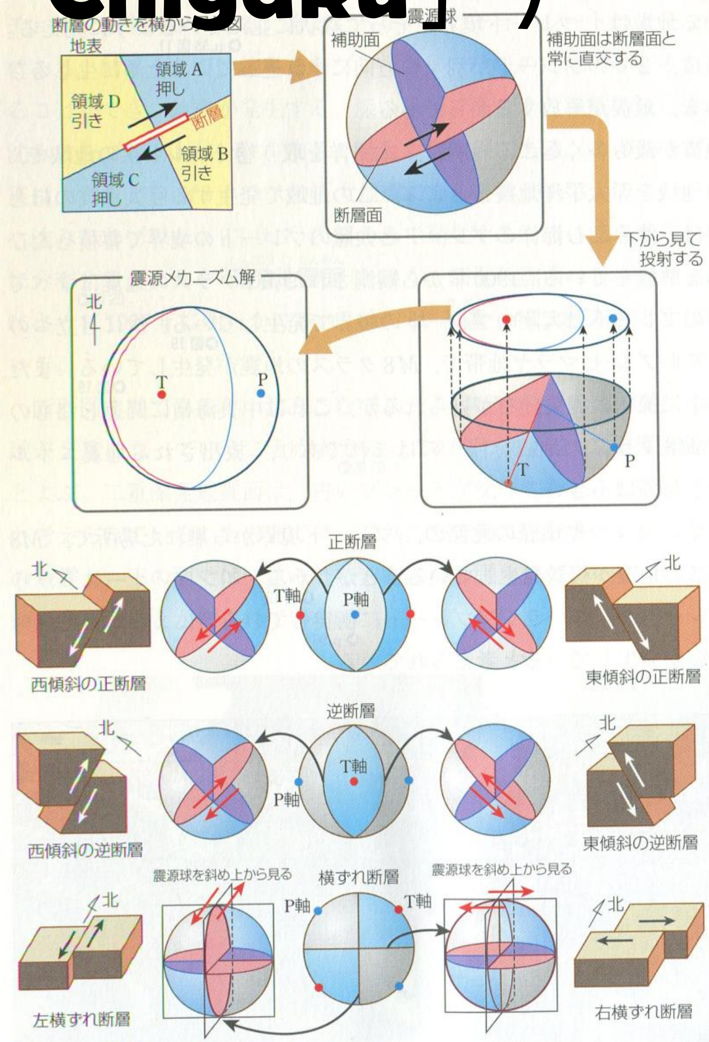
⬆図A　1917年静岡県の地震のP波の初動分布　「押し」と「引き」の分布から4つの領域に分けることができる。

断層運動は3次元で考える必要があるので，震源を中心とする球（震源球）を考える。

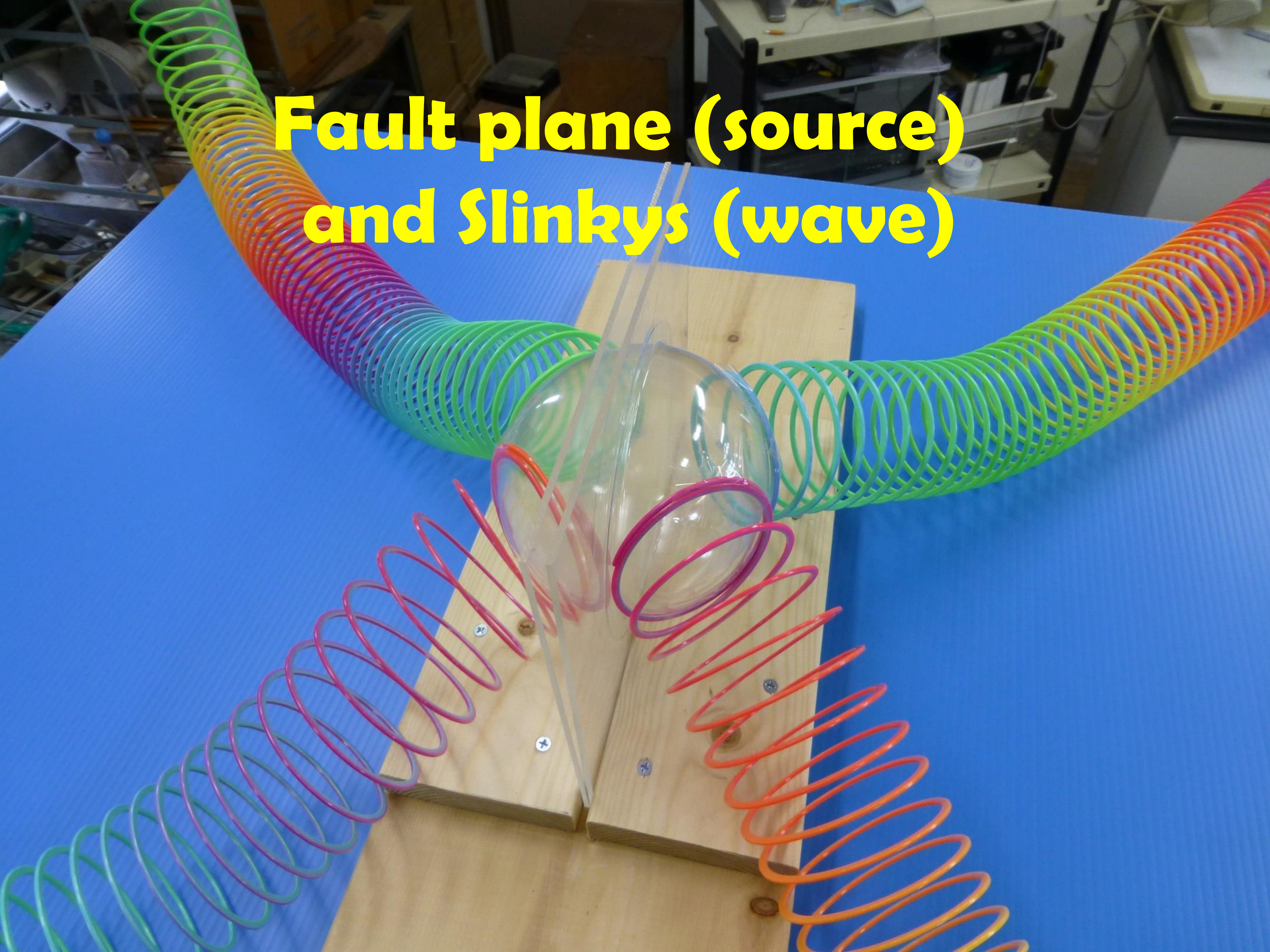
震源球に押し引きの分布をプロットすると，4つの領域に分けることができる。4つの領域を分ける平面は2つあるが，そのうちの1つが断層面となる。もう1つの面は，補助面とよばれる。この球を下から見て，2次元に投射したものを震源メカニズム解とよぶ。

この震源メカニズム解からは，2つの断層面が求まるが，実際にどちらの断層面が動いたかは判断できない。しかし，この震源メカニズム解から，正断層・逆断層・横ずれ断層のいずれであるかを判断することができる。

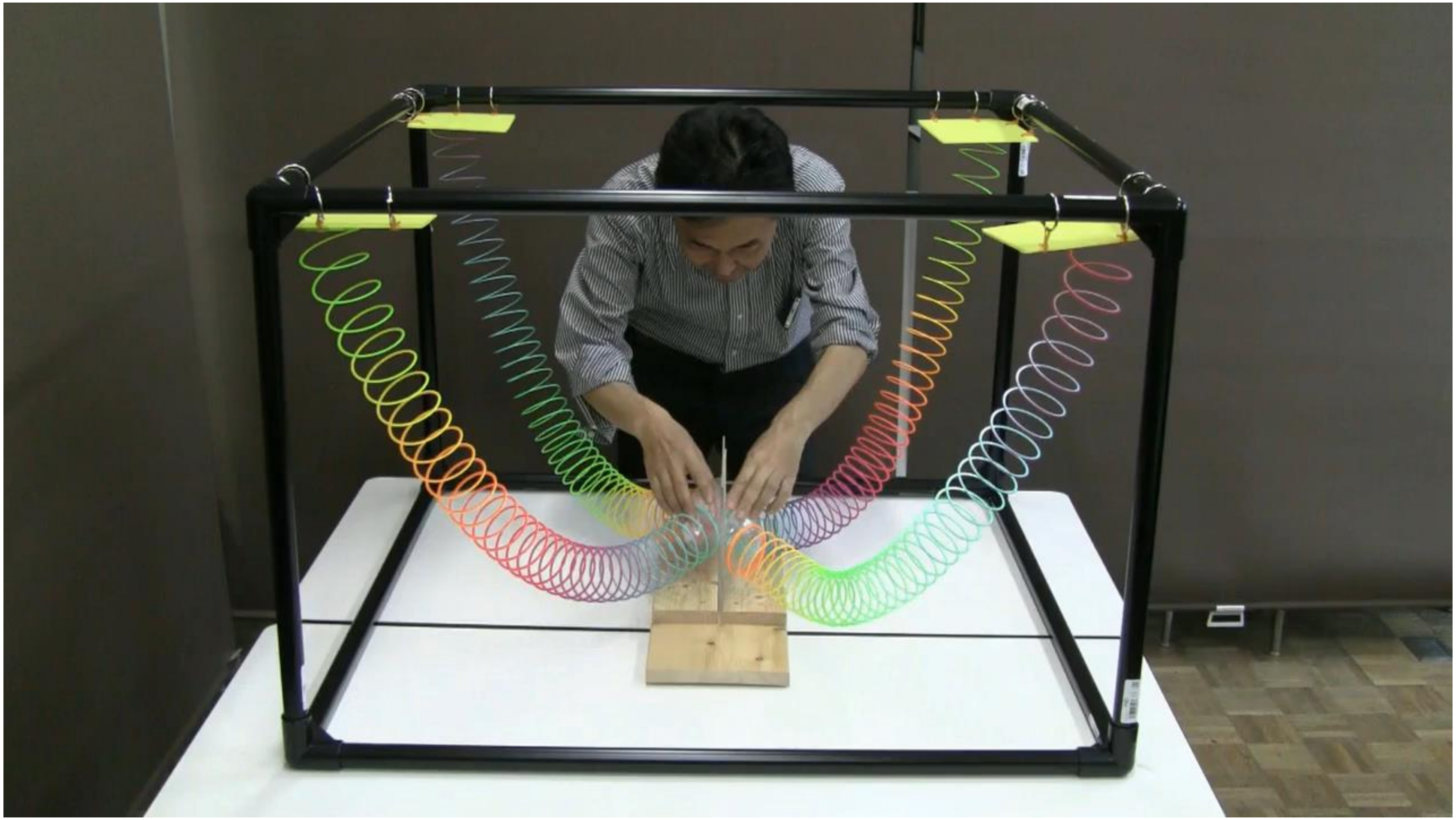
震源から押し出される領域の中心を結ぶ軸をT軸，震源へ引きこまれる領域の中心を結ぶ軸をP軸とよぶ。震源はT軸方向に引っ張られており，P軸方向に圧縮されている。



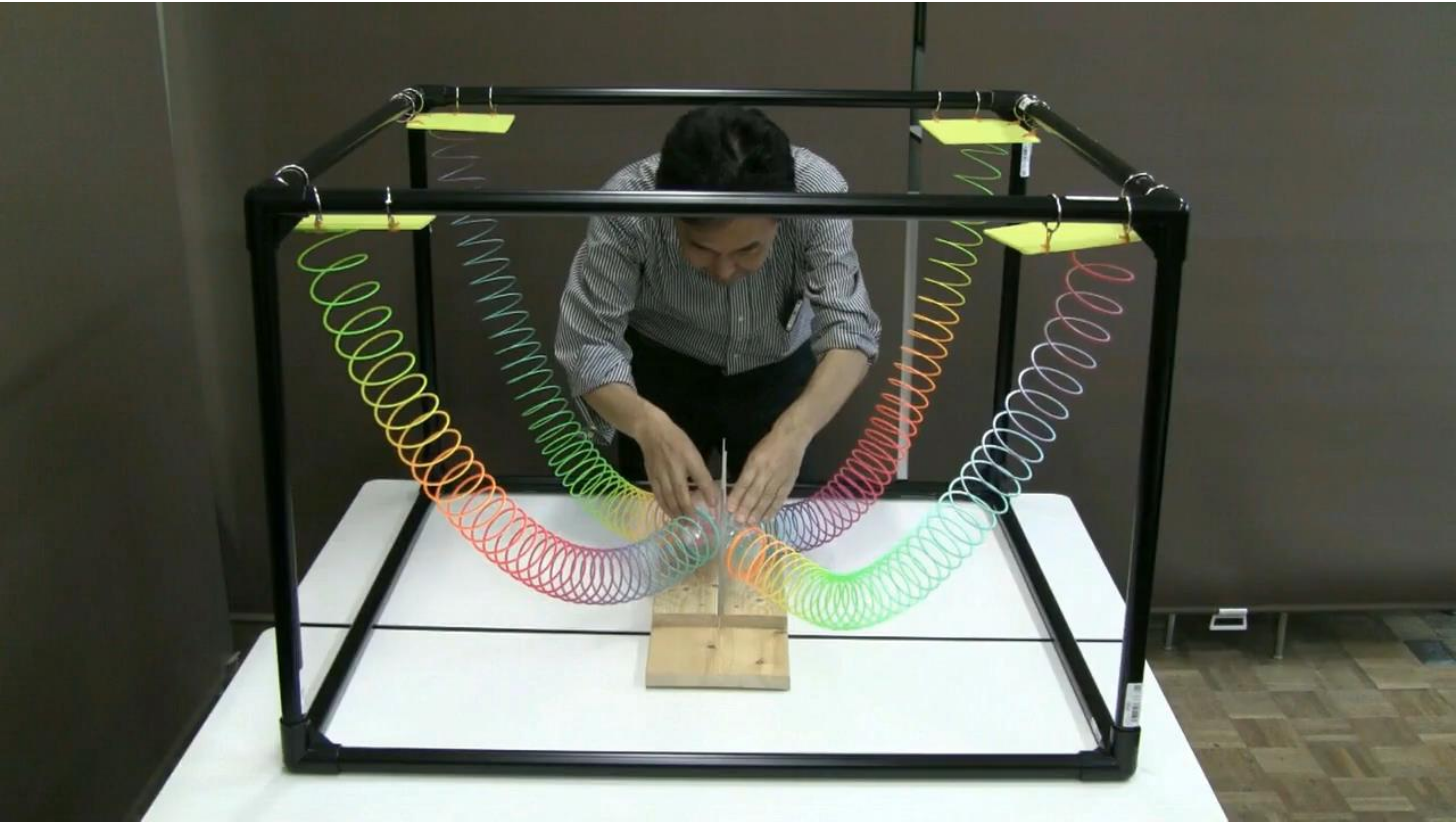
⬆図B　P波初動の分布と震源メカニズム解


Fault plane (source)
and Slinkys (wave)

Normal speed movie



Slow play



What this model shows:

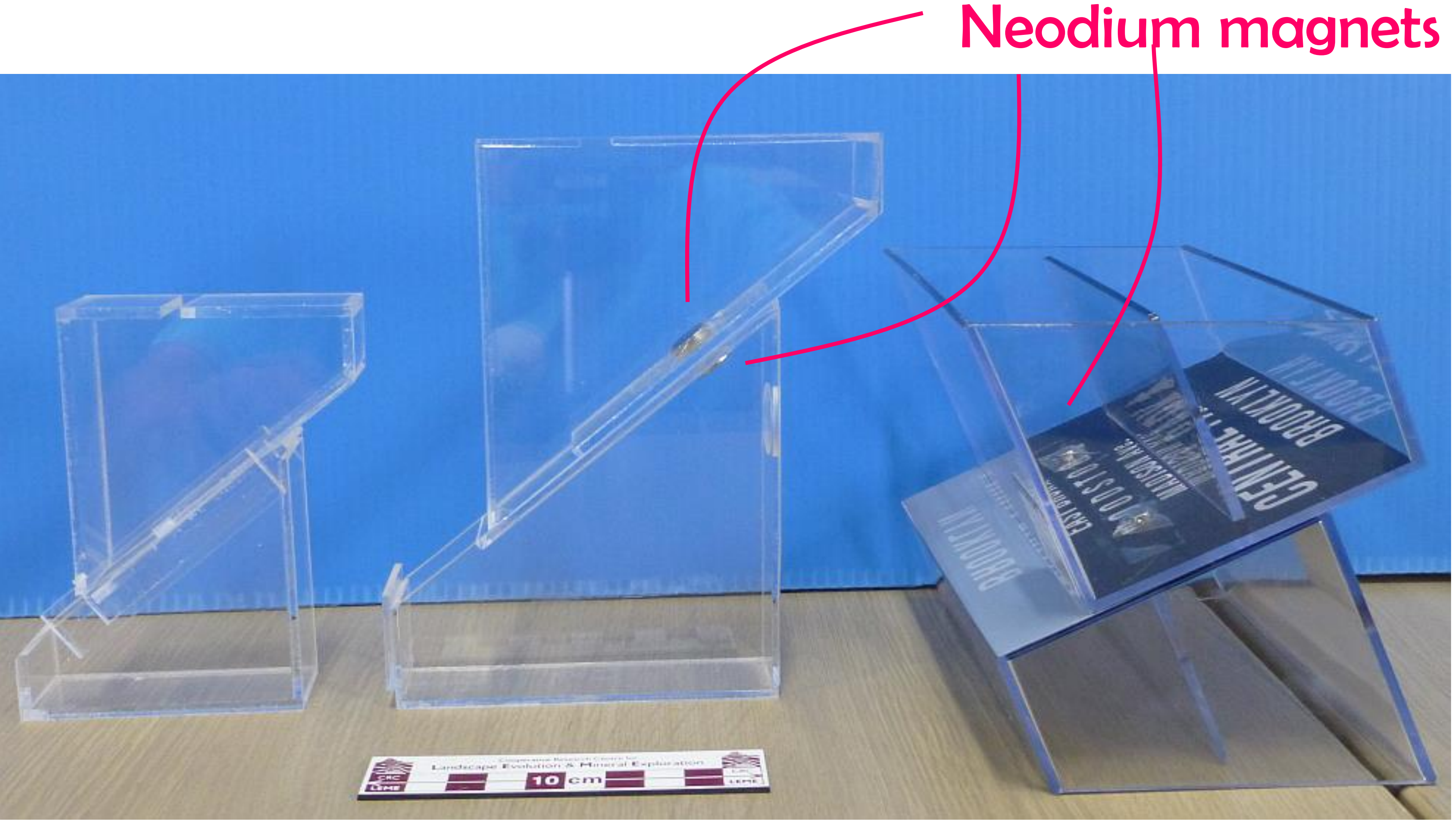
- Unfortunately, the movie is too fast to recognize the initial P-phases!!
- The relation between the focal dislocation and the seismic wave generation is introduced.
- A theoretical (wholly predictable) wave propagation is shown after an earthquake shocked.

Q_2: Are the earthquakes on a same fault periodic?

- If "the characteristic earthquake model" is reasonable.
- The earthquakes on a same fault are periodic!
- Periodic means: the next event is predictable!
- Simplified conditions ->
- An interesting prior study:

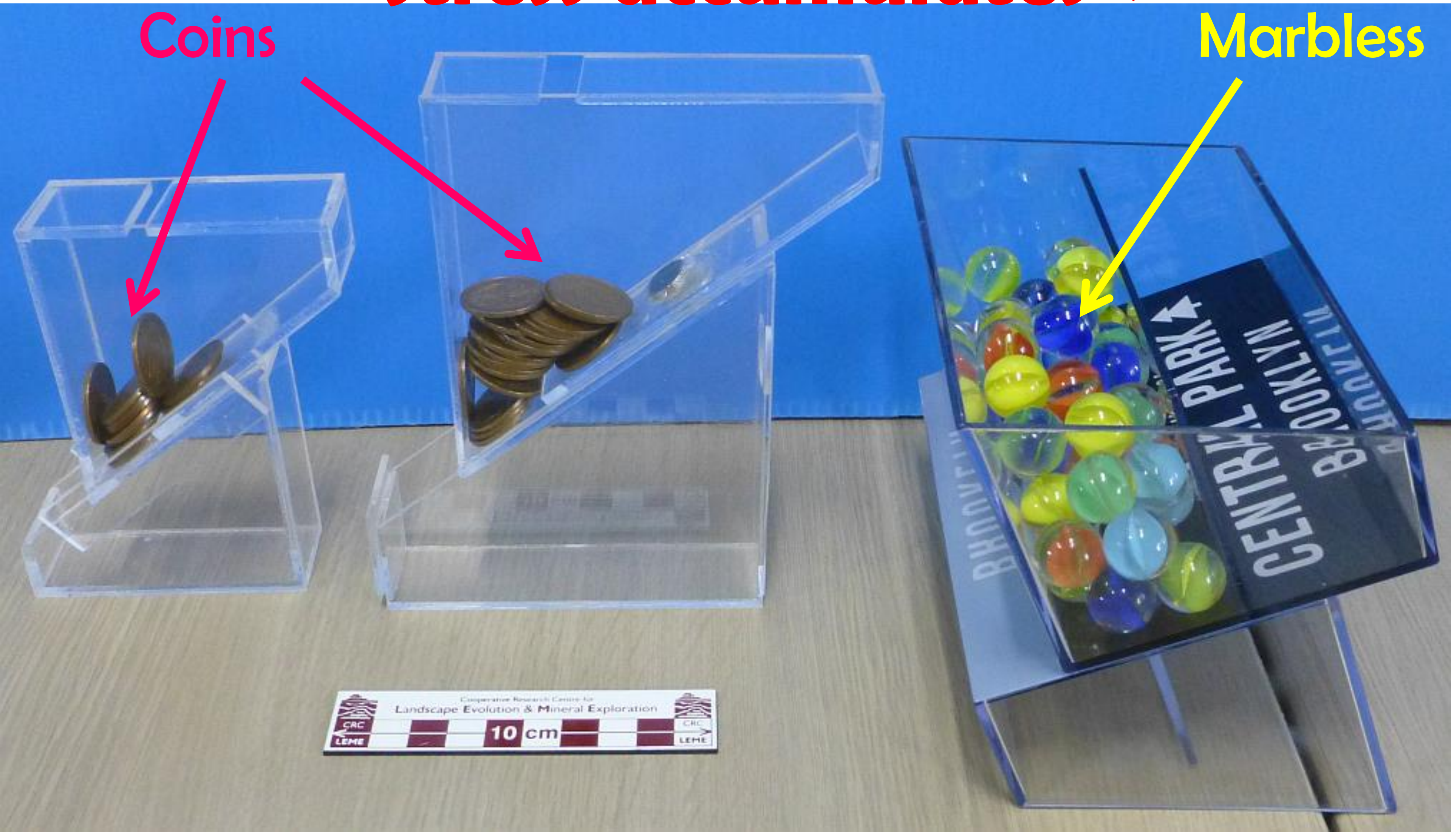
  Hall-Wallace: Can earthquake be predicted?, JGE **46**, 439-449, 1998

Toy_2: "Piggy Bank" as a fault slip model



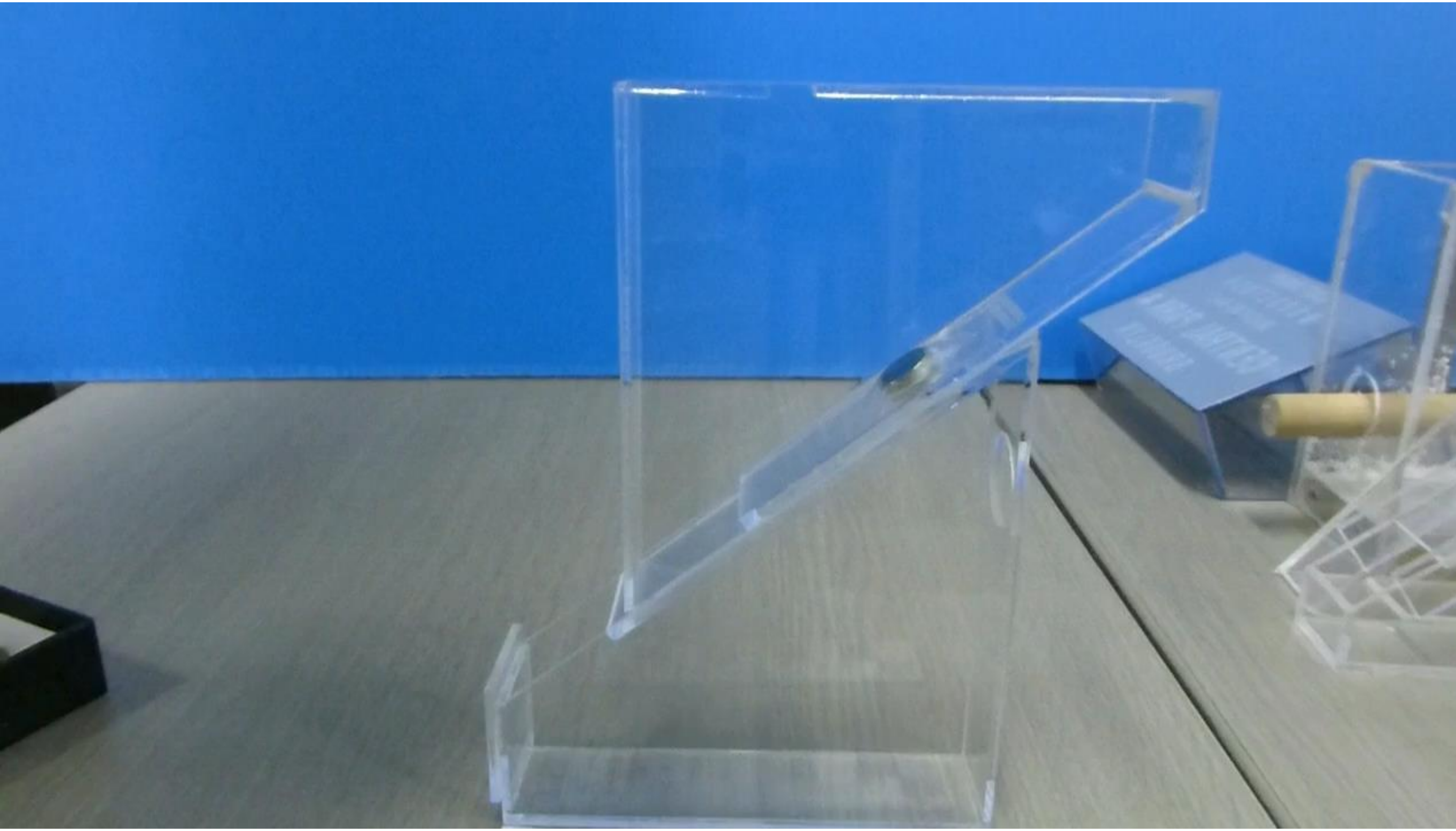
“Piggy Bank”: Before Slip

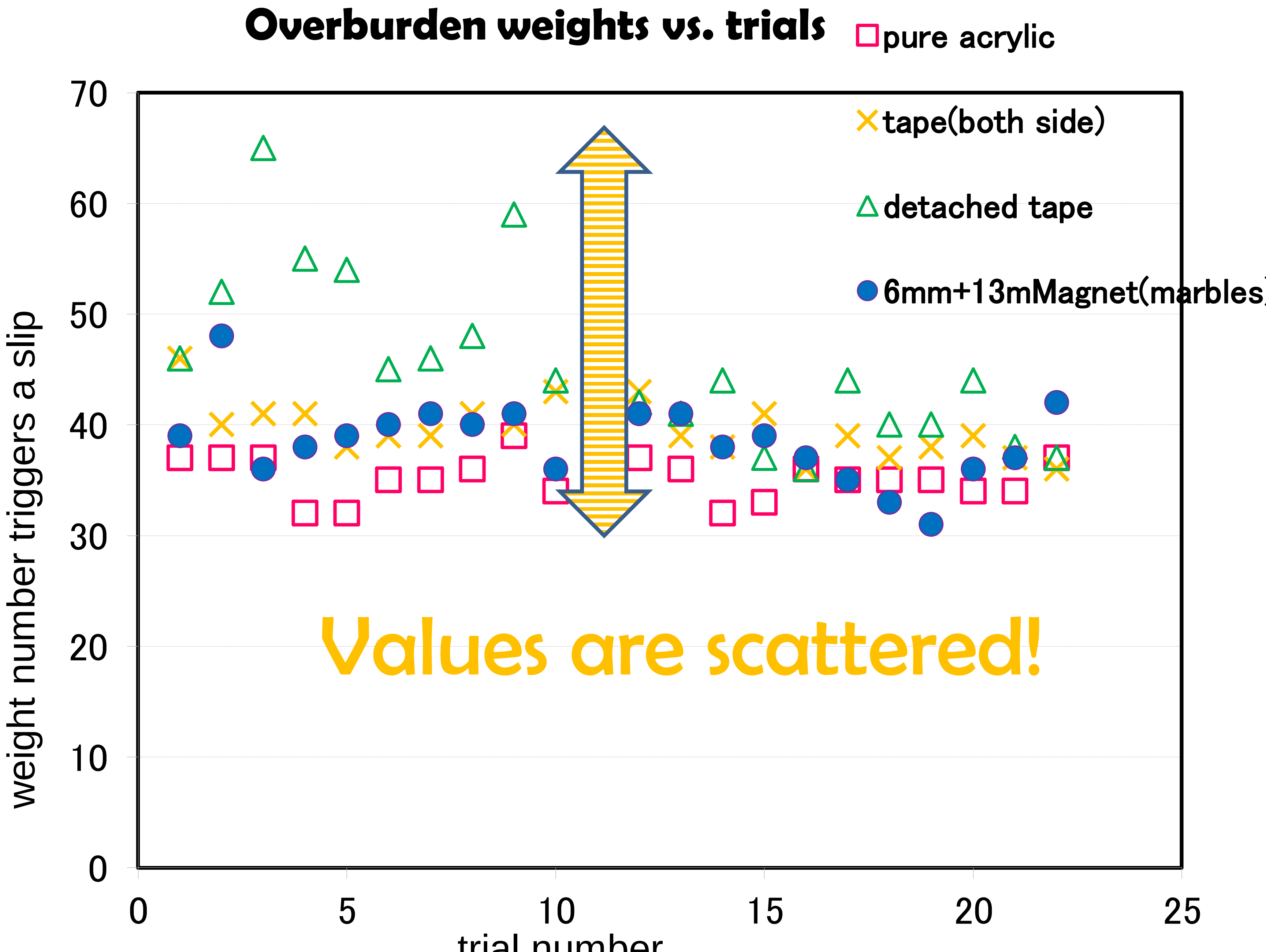
Stress accumulates->



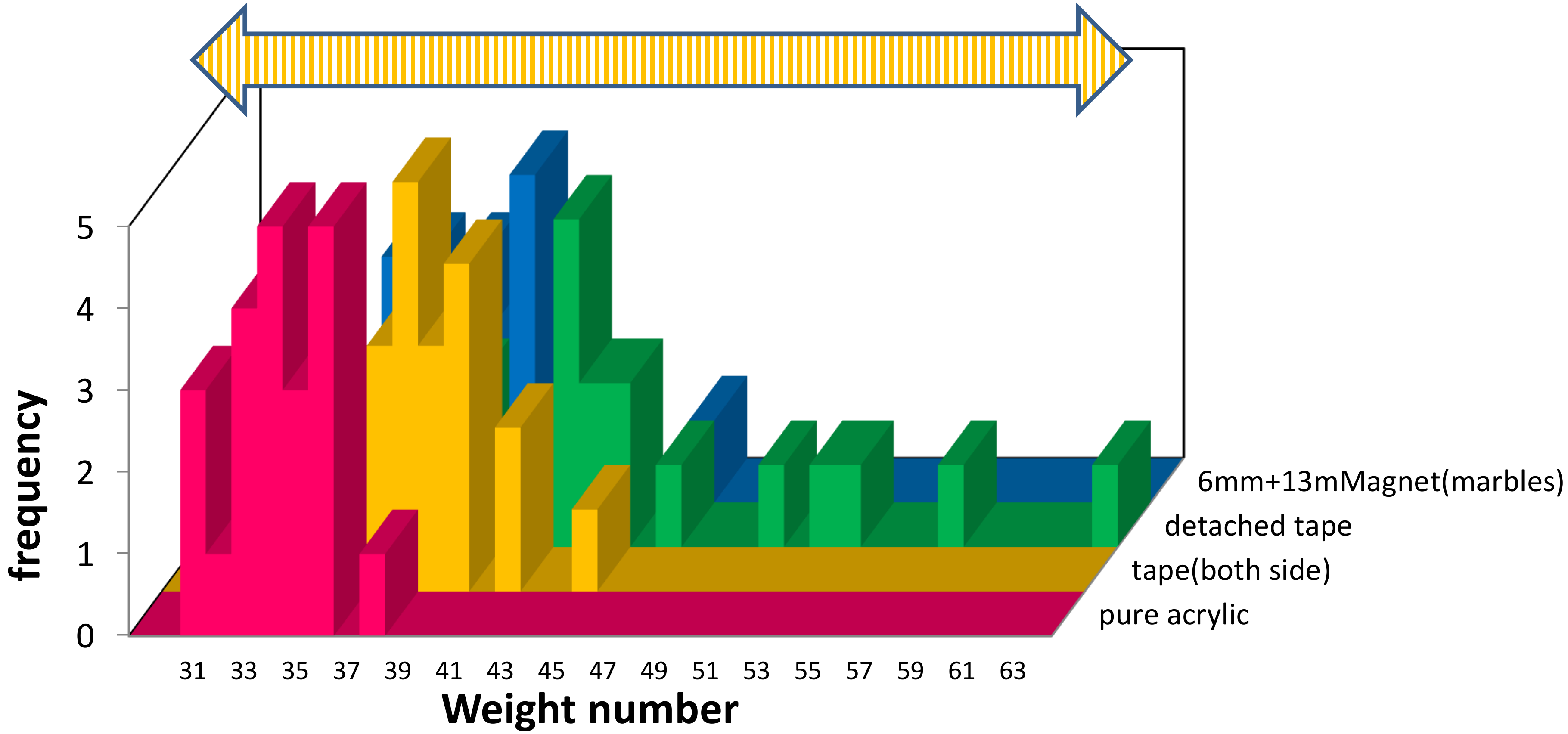
“Piggy Bank”: After Slip

Piggy Bank Movie!




Overburden weights vs. trials
pure acrylic
tape(both side)
detached tape
6mm+13mMagnet(marbles)
Values are scattered!
weight number triggers a slip
trial number
0
10
20
30
40
50
60
70
0
5
10
15
20
25

Histogram (weight vs. frequency)



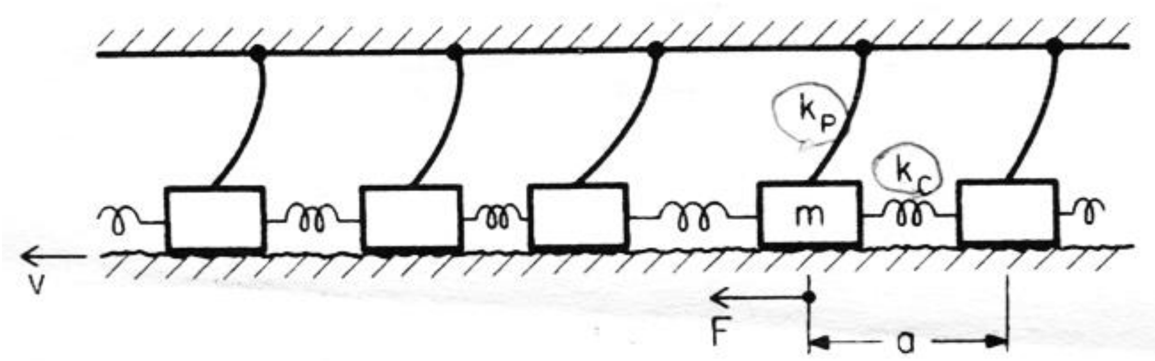
An Irregular distribution is appeared.

This results show even a simple friction model dose not behave pure periodic pattern!

Q_3: How do faults affect each other

- Even a simple model shows a little bit complicated pattern.
- If many faults affect each-other,

what kind of thing happens??

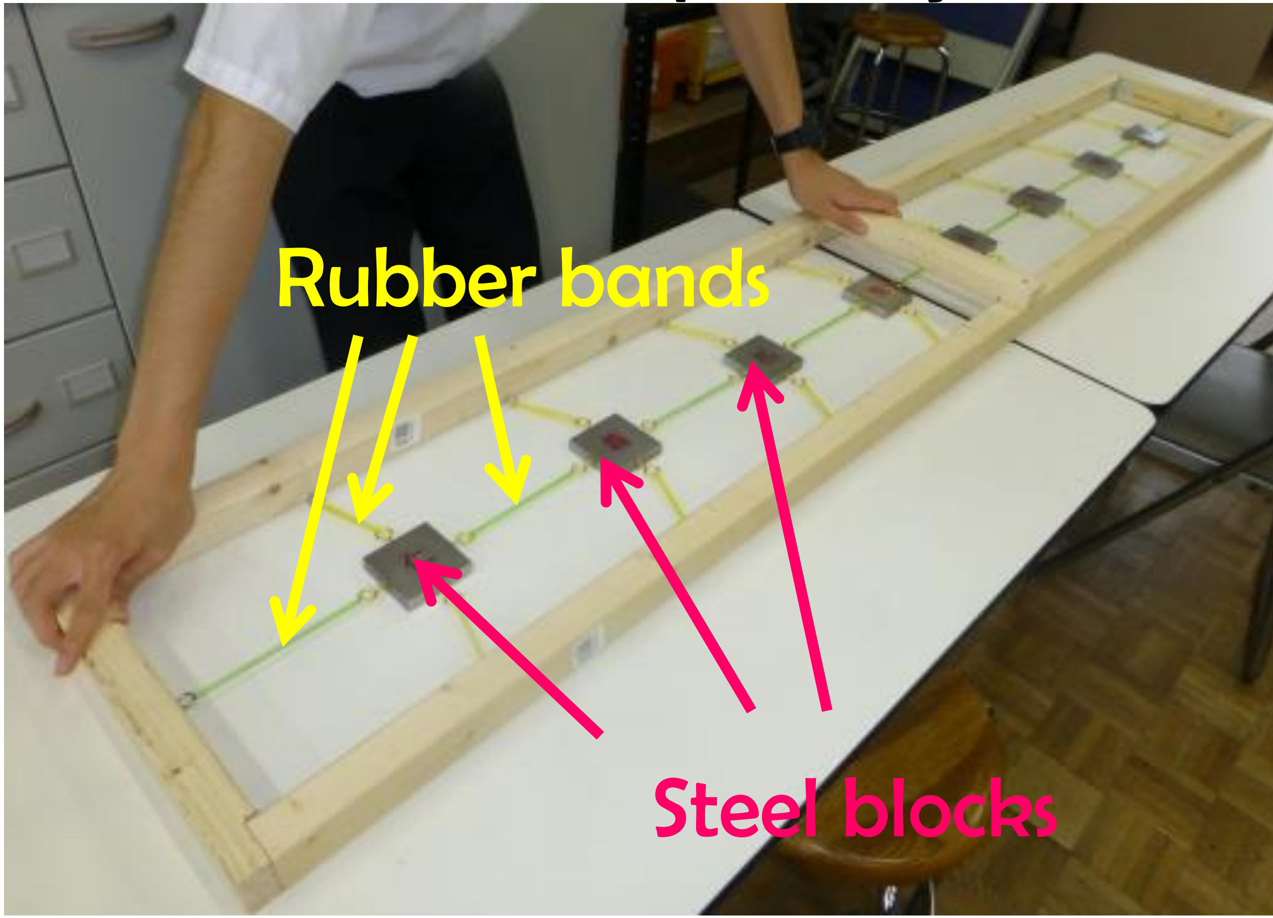


Burridge and Knopoff(1967) ：Model and theoretical seismicity, BSSA.57, 341–371

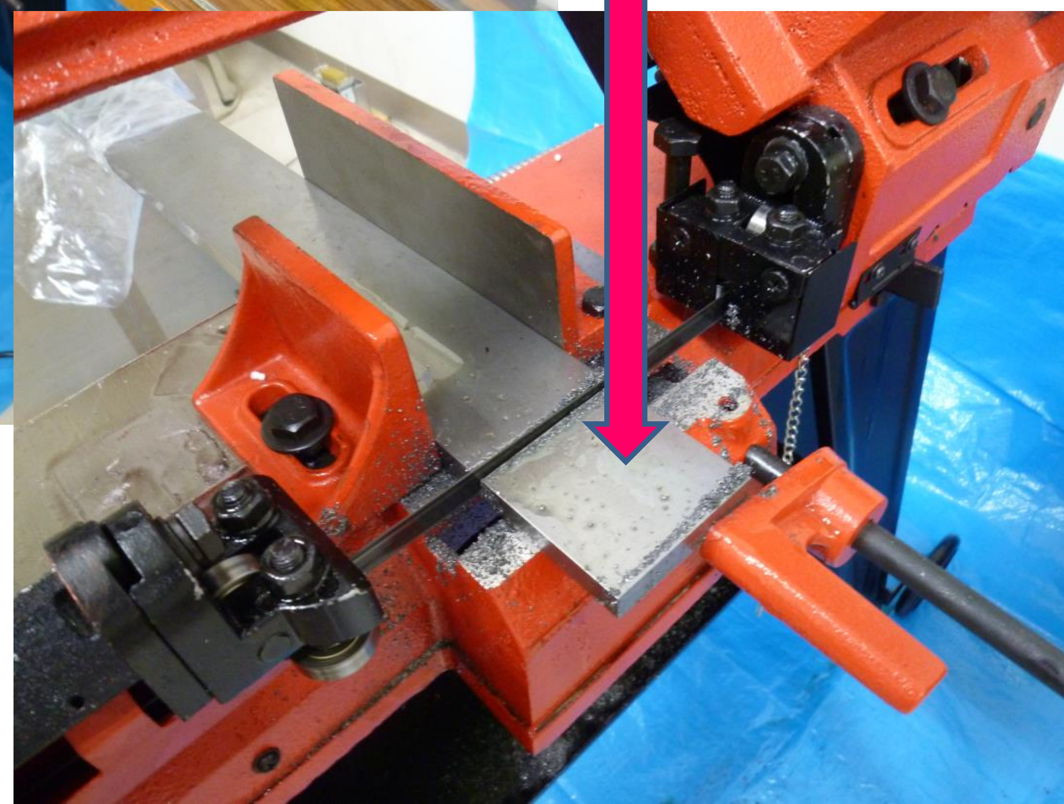
Spring-block model

- What happens in a multi-block model?
- Theses models are originated by Burridge and Knopoff(1967), This S-B model is inspired by Kato(2011)

Spring-block model:
8 thick iron plates lined up in a straight are connected to a surrounding wooden frame with rubber bands.
The frame is driven by hand.



Cutting Iron Blocks by a "cheap" Band Saw




Shaving surface by a milling machine
Four pull-tags are attached

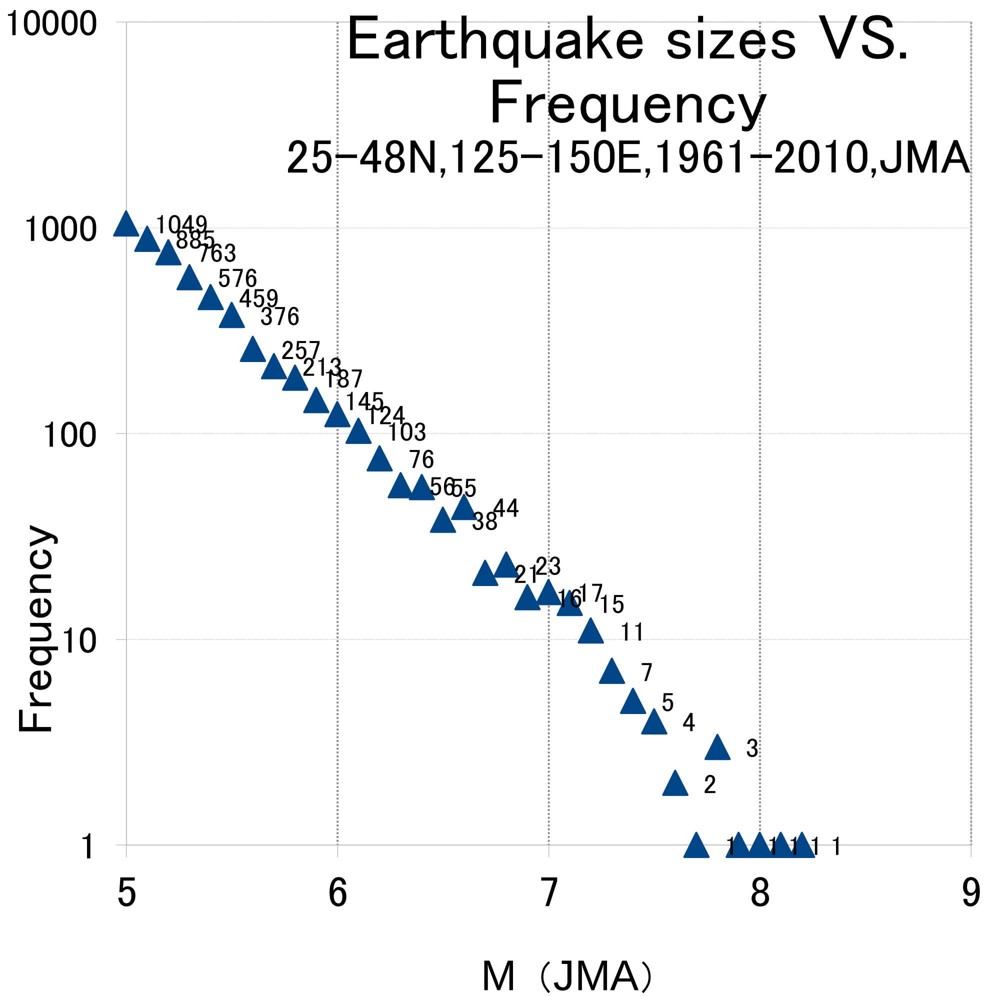
Spring-block model Movie!!

Spring-Block model exercise

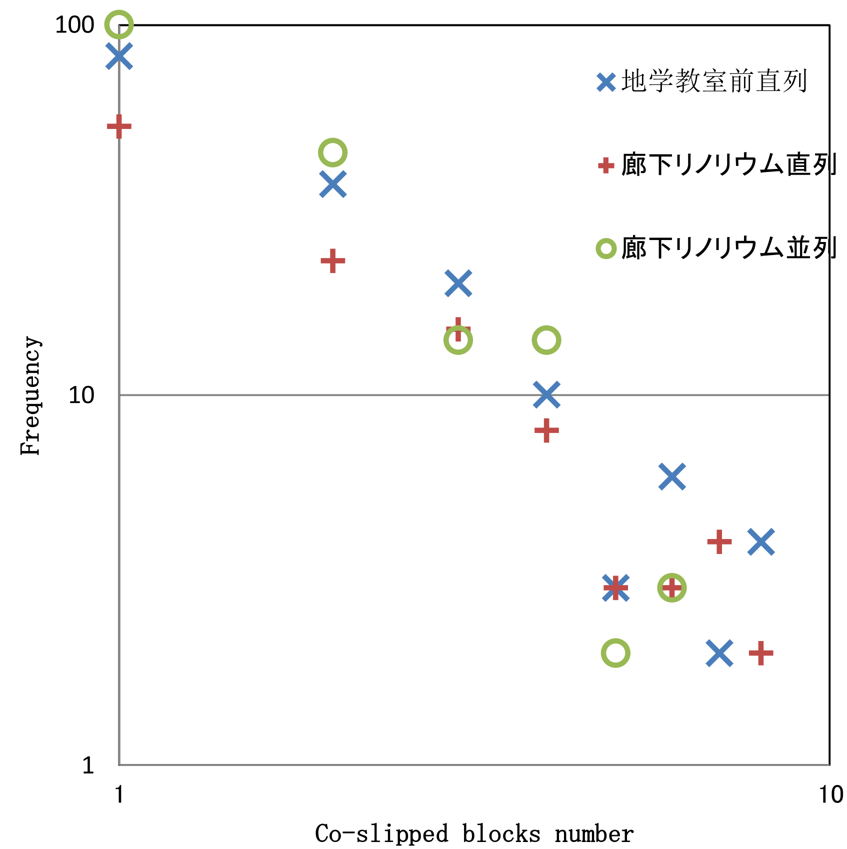
- The exercise is carried out on the classroom floor, students are watching and counting the slips of each blocks enjoyably. (Occurrence of earthquakes)
- The wooden rim is driving slowly in one direction (a mimic of plate and/or fault motion).

The Gutenberg-Richter's Law

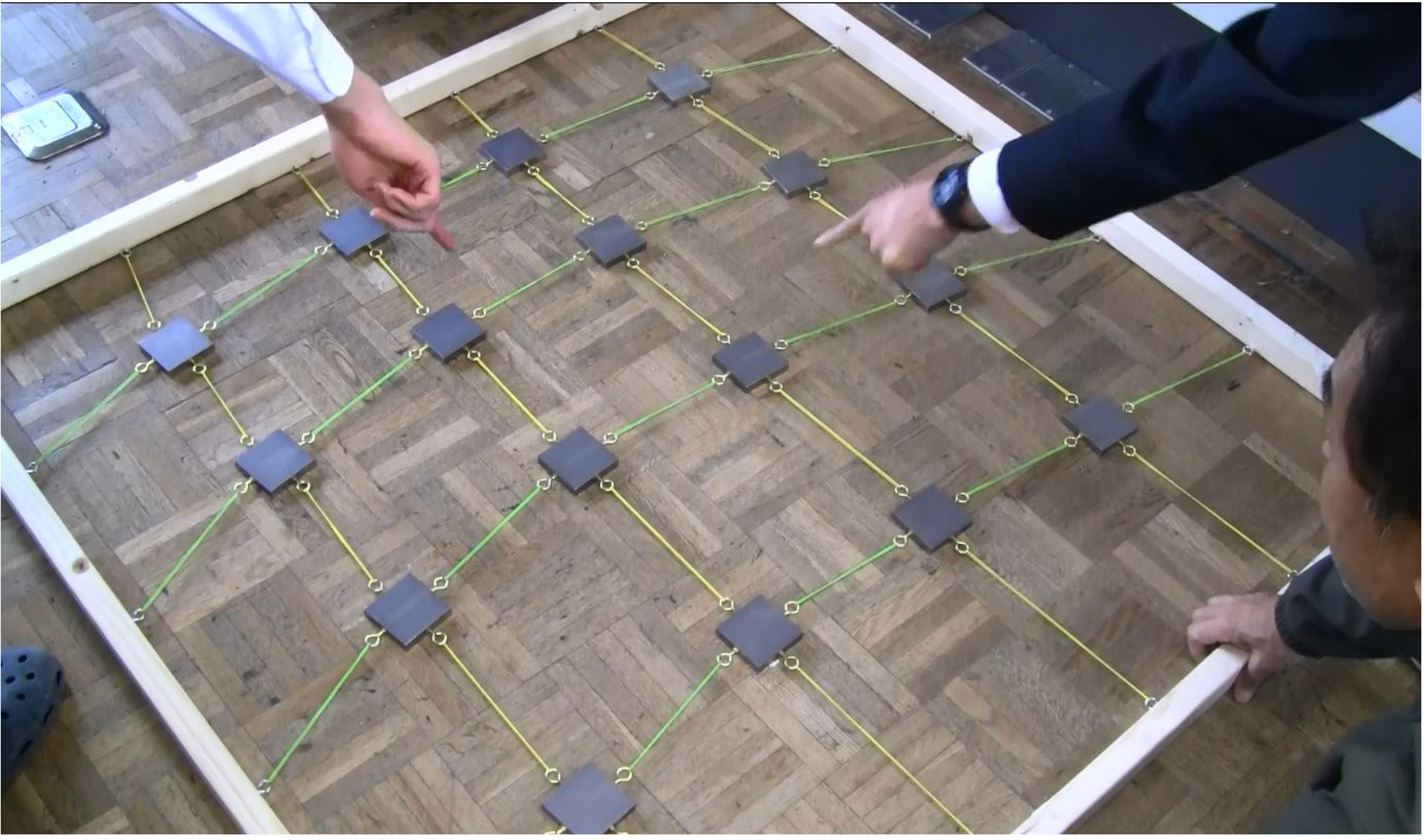
Natural earthquakes



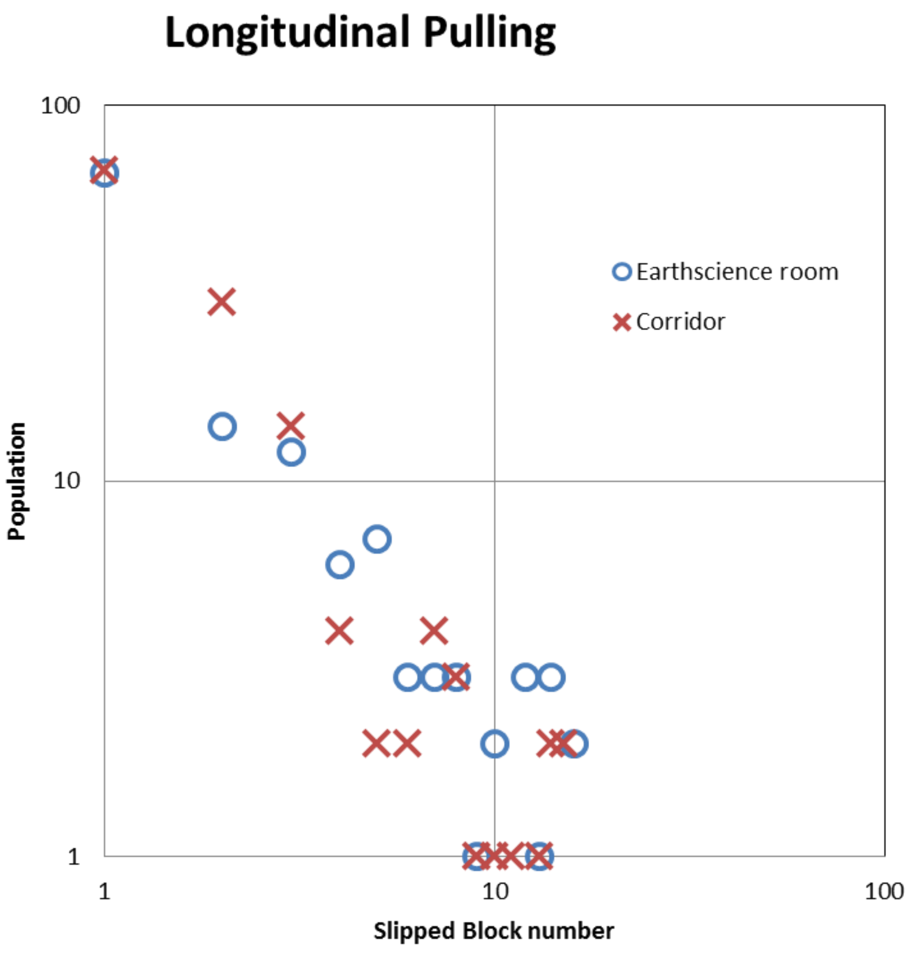
One dimensional S-B model

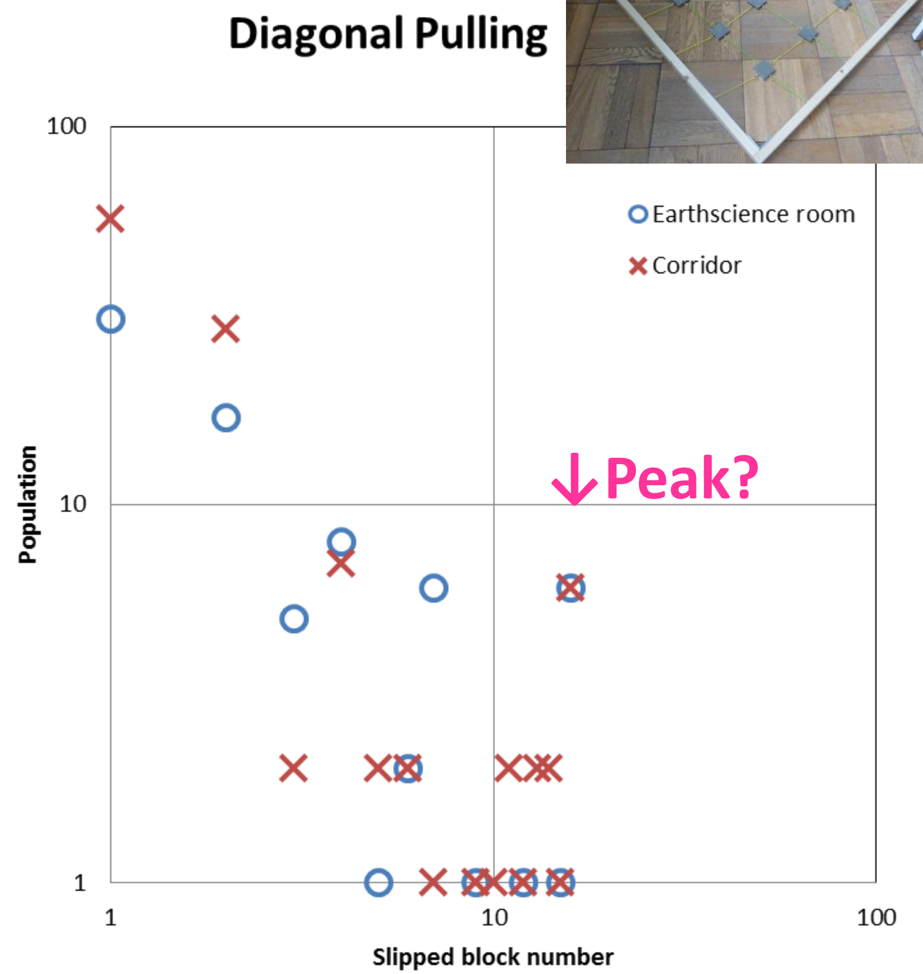


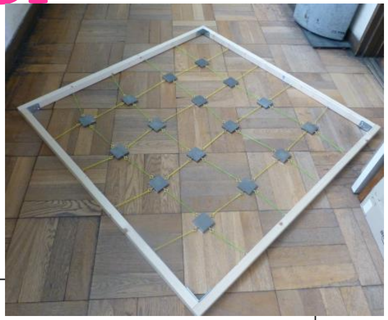
Let's count slipped blocks on two-dimension model!



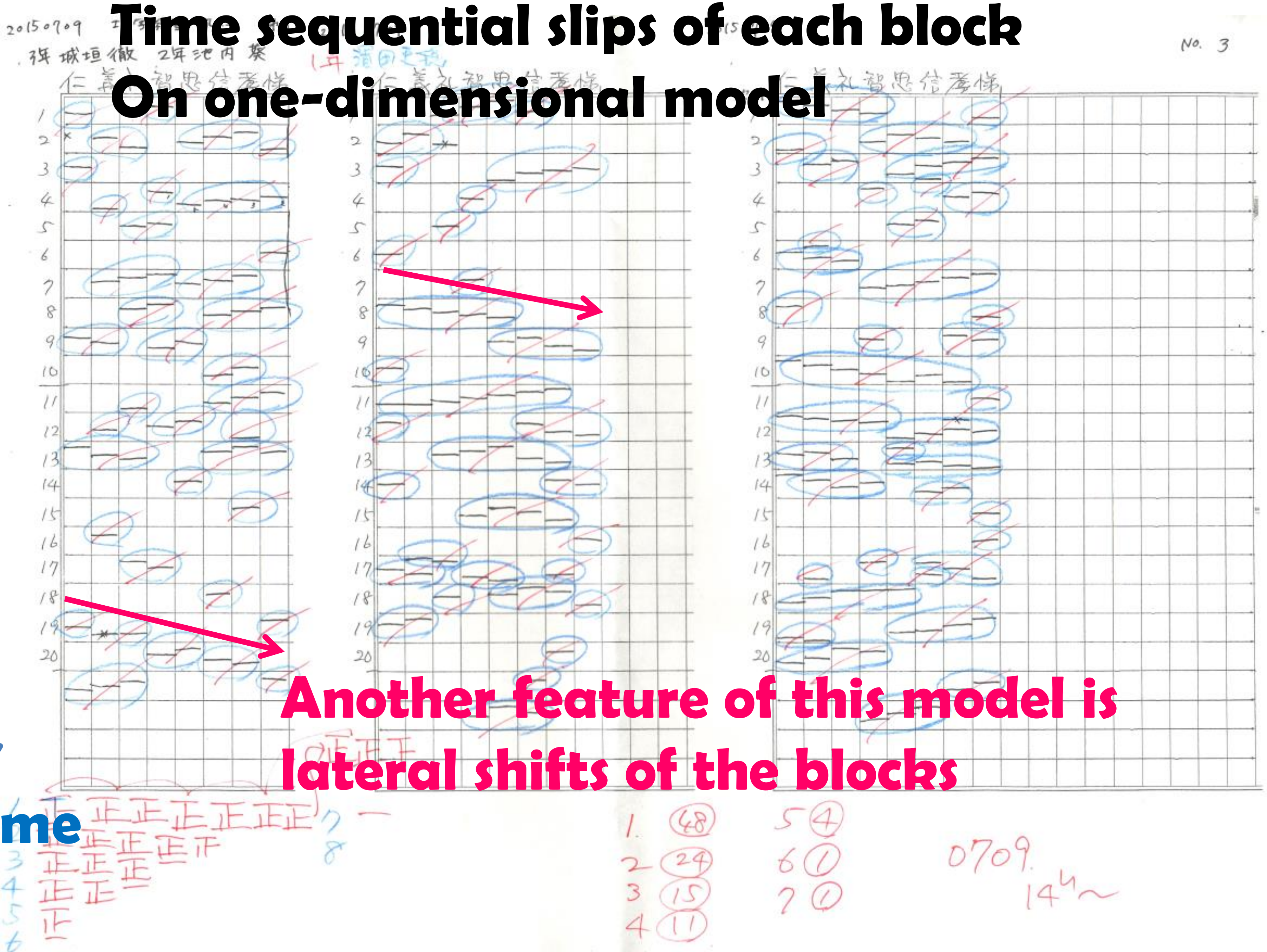
Co-Slipped blocks and frequency on two dimensional model







Time sequential slips of each block
On one-dimensional model



Time

Another feature of this model is lateral shifts of the blocks

Latest Earthquakes
Real-time Feeds & Notifications
Significant EQ Archive
Search EQ Archive
"Top 10" Lists & Map
Info by Region

Historic Earthquakes

Magnitude 7.6 TURKEY

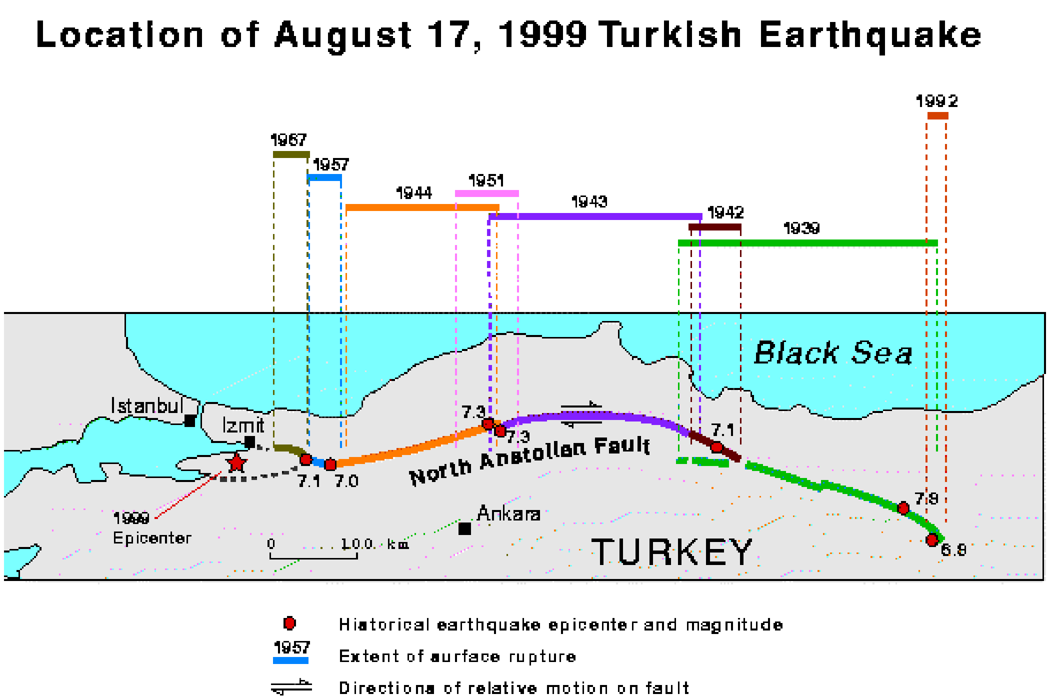
1999 August 17 00:01:39 UTC

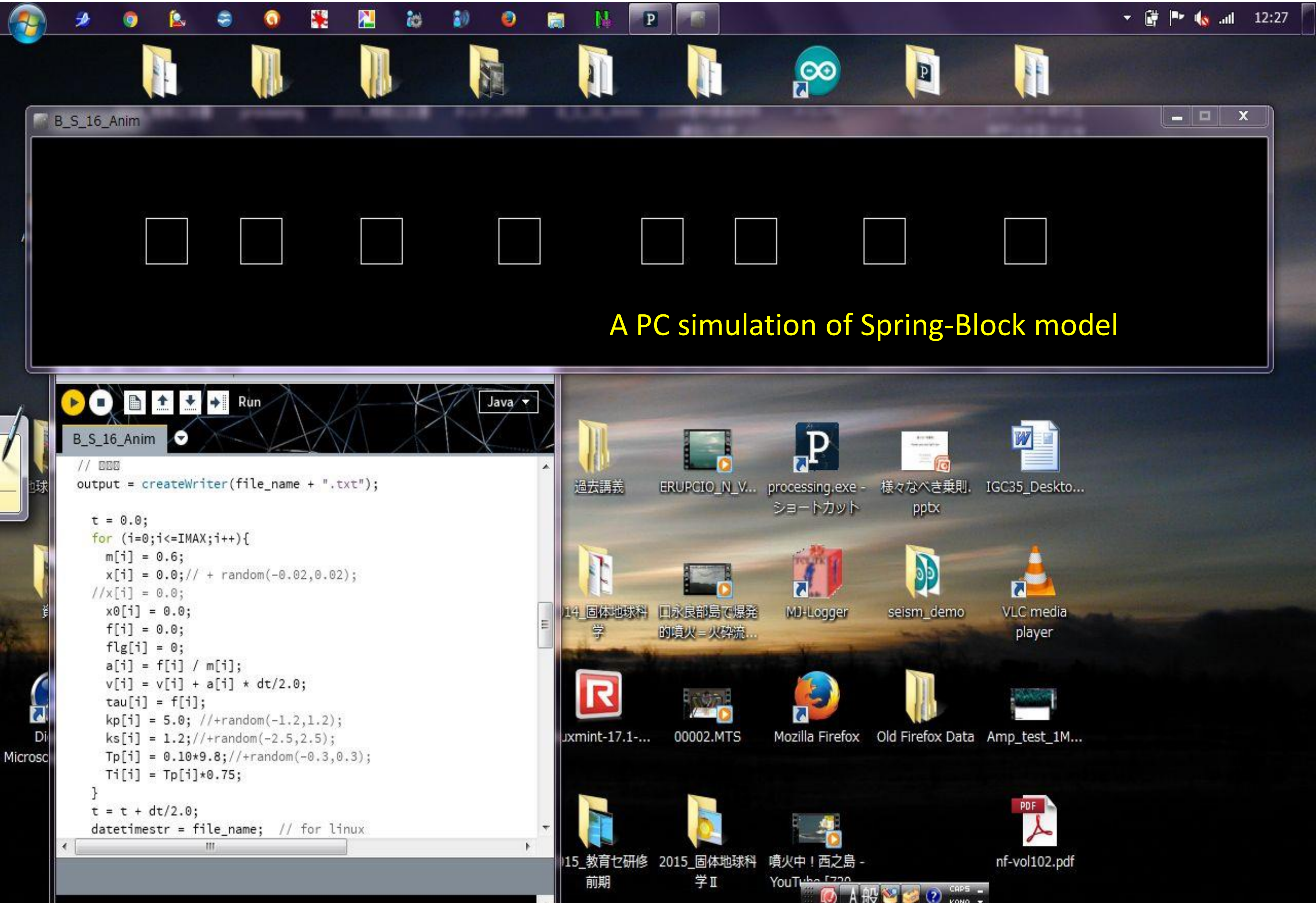
http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/1999/1999_08_17_ts.php

The earthquake likely occurred on a branch of the North Anatolian fault. Although this is the largest earthquake in the epicentral region in this century, the region of the earthquake has a long history of destructive earthquakes. In 1967, a magnitude 7.1 earthquake caused extensive damage along the North Anatolian fault just east of the current shock.

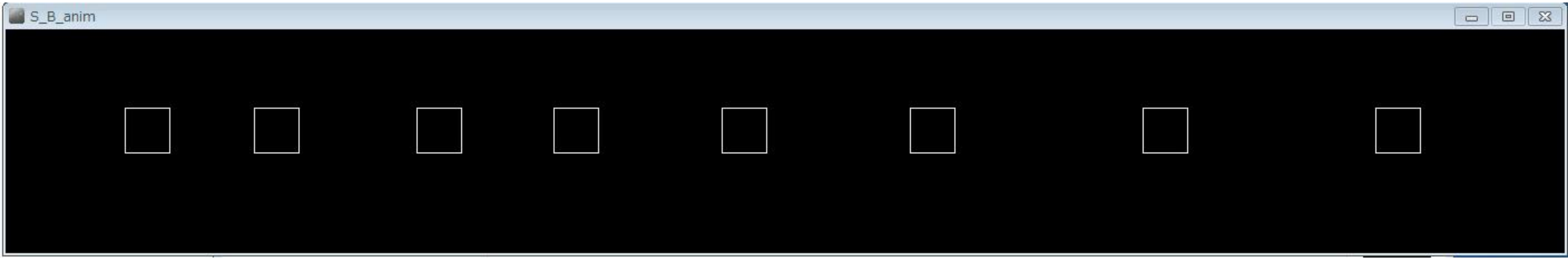
The 900 kilometer-long North Anatolian fault has many characteristics similar to California's San Andreas fault. These two faults are right-lateral, strike-slip faults having similar lengths and similar long-term rates of movement. If a person is looking across a right-lateral, strike-slip fault during such an earthquake, that person would see the opposite side move to the right.

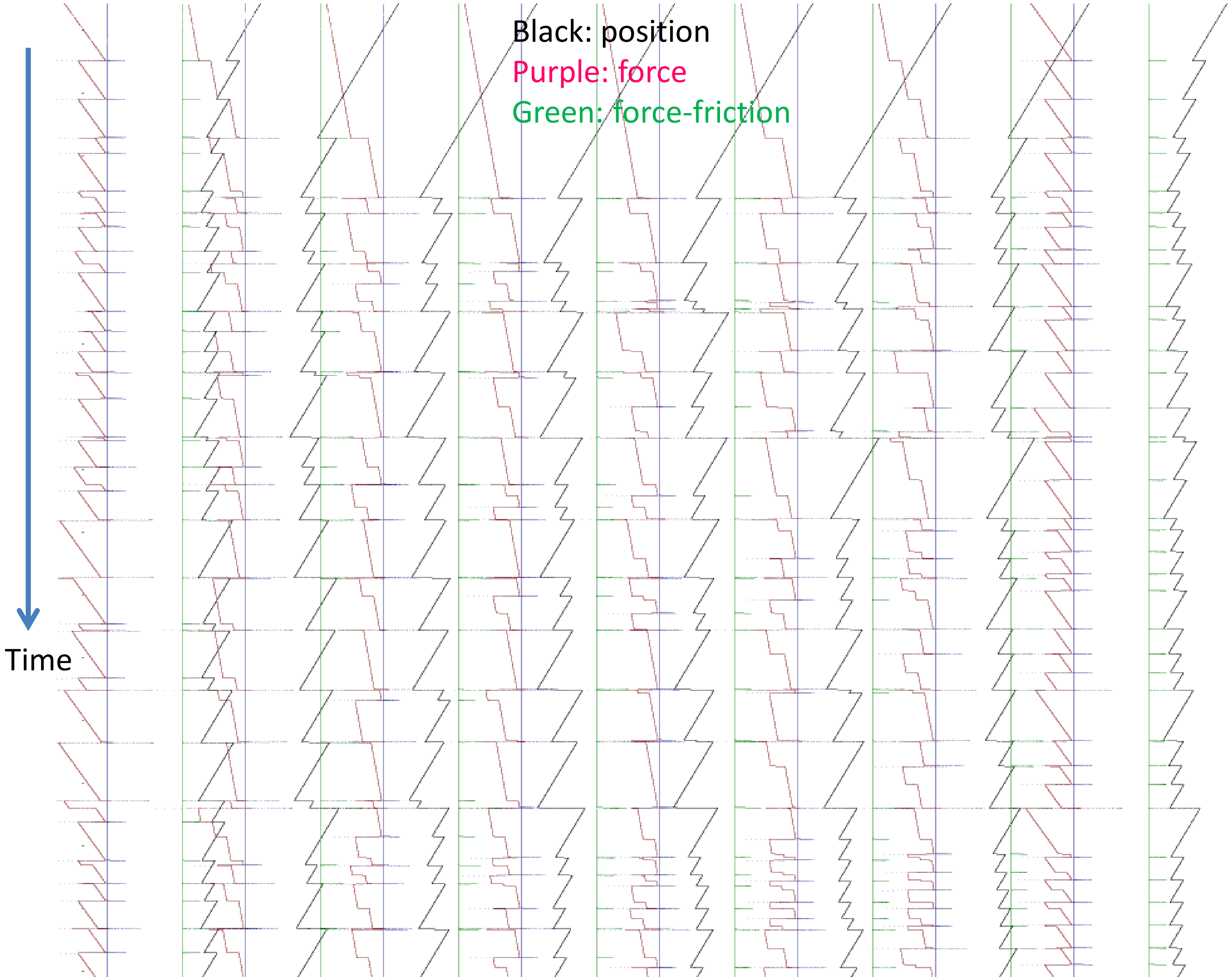
The North Anatolian fault has produced seven large (MS >= 7.0) earthquakes in the period from 1939 through 1999. These earthquakes have ruptured the fault progressively from east to west. The seismic gap on the western part of the North Anatolian fault led Turkish and American seismologists to specify, in published papers, that the zone ruptured by the August 17, 1999, earthquake was a zone of special concern.




B_S_16_Anim
A PC simulation of Spring-Block model
Run
Java
B_S_16_Anim
output = createWriter(file_name + ".txt");
t = 0.0;
for (i=0;i<=IMAX;i++){
m[i] = 0.6;
x[i] = 0.0;// + random(-0.02,0.02);
//x[i] = 0.0;
x0[i] = 0.0;
f[i] = 0.0;
flg[i] = 0;
a[i] = f[i] / m[i];
v[i] = v[i] + a[i] * dt/2.0;
tau[i] = f[i];
kp[i] = 5.0; //+random(-1.2,1.2);
ks[i] = 1.2;//+random(-2.5,2.5);
Tp[i] = 0.10*9.8;//+random(-0.3,0.3);
Ti[i] = Tp[i]*0.75;
}
t = t + dt/2.0;
datetimestr = file_name; // for linux
過去講義
ERUPCIO_N_V...
processing.exe - ショートカット
様々なべき乗則.pptx
IGC35_Deskto...
seism_demo
VLC media player
MJ-Logger
00002.MTS
Mozilla Firefox
Old Firefox Data
Amp_test_1M...
nf-vol102.pdf
12:27

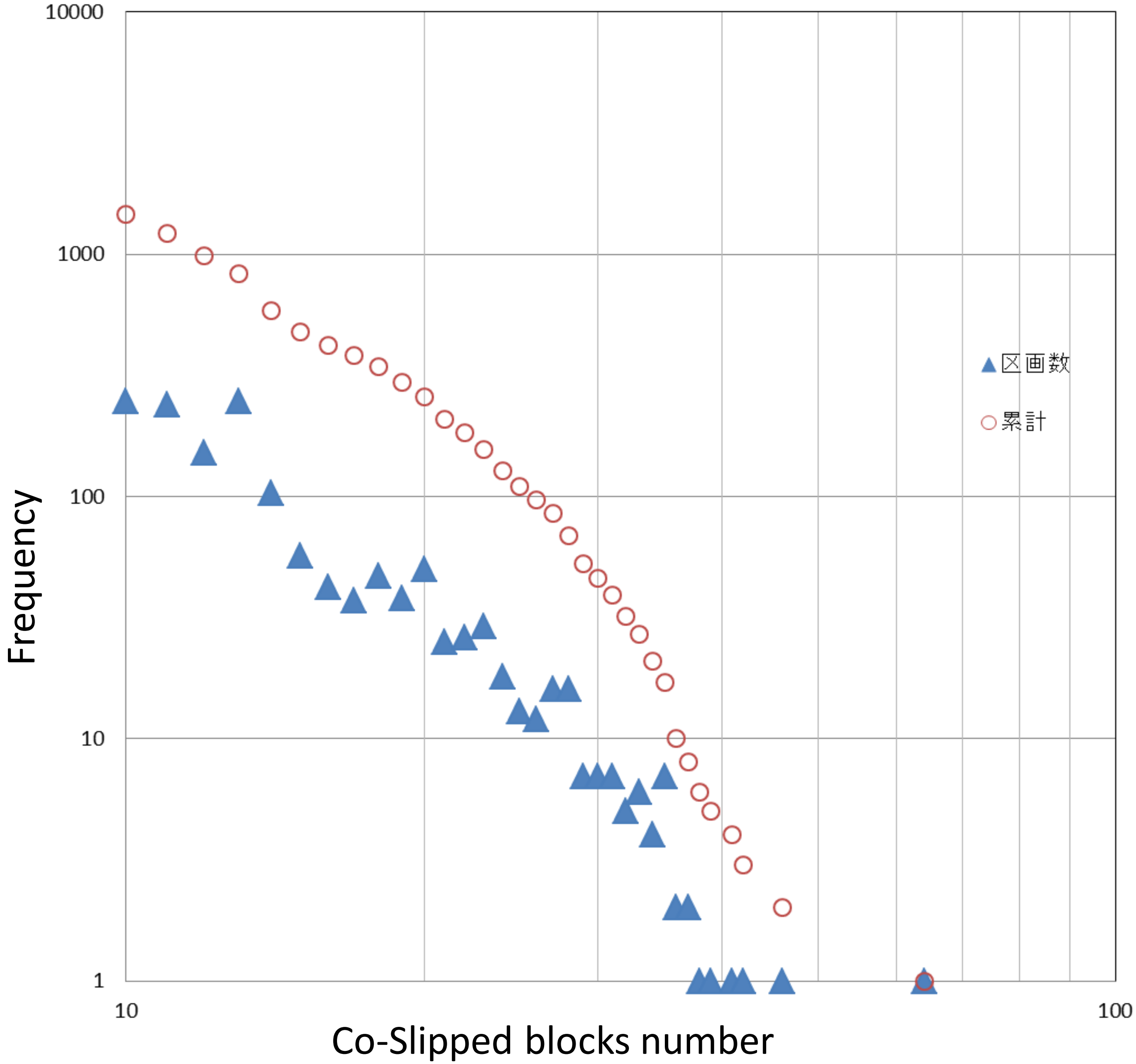
PC Simulation





Black: position
Purple: force
Green: force-friction
Time

PC simulation results



Conclusion

- Three desktop toys are developed to inspire students for seismology.
- These models show two aspects of earthquakes; simple and complicated.
- Also the models are introducing two compensative approaches for nature; deterministic and stochastic; linear and non-linear.
- Our students fully enjoyed these demonstrations.

Acknowledgements

We thank to Dr. Mamoru Kato for his useful discussion.
We also thank to Mr.Rion Hamada, Mr.Hinata Kimura, Mr.Tetsuto Yabuno, Mr.Kyota Kohno, Ms.Usa Yamagami And Ms.Meika Minami of Tennoji High School attached to Osaka Kyoiku University 23th Aug. 2016

This study is supported by Kakenhi JAPAN No.25350200.

Thank you for your attention!

Please come to my Poster:#PB06

Low-Cost and Easy-Made Horizontal Seismometer with Arduino for Educational Use -Demonstration and Observation

http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~yossi

References:

- Yoshio Okamoto(2003): A tiny fault model in a slide case using flour and cocoa - Faults or cookies? -, GeoSciEdIII Calgary abstracts.
- Burridge and L. Knopoff(1967)：Model and theoretical seismicity, *BSSA*. **57**, 341–371
- Schwartz, D. P., and K. J. Coppersmith (1984): Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones, JGR. 89, 5681–5698.
- Mamoru Kato(2011): Burridge-Knopoff Model as an Educational and Demonstrational Tool, zisin 2, vol.63, 243-245