

教材化バネブロックモデルの改良とその解析 -南総里見“八剣山”モデル-

An improved spring-block model for educational use and its analysis -Nanso Satomi "Hakkenzan" Model-

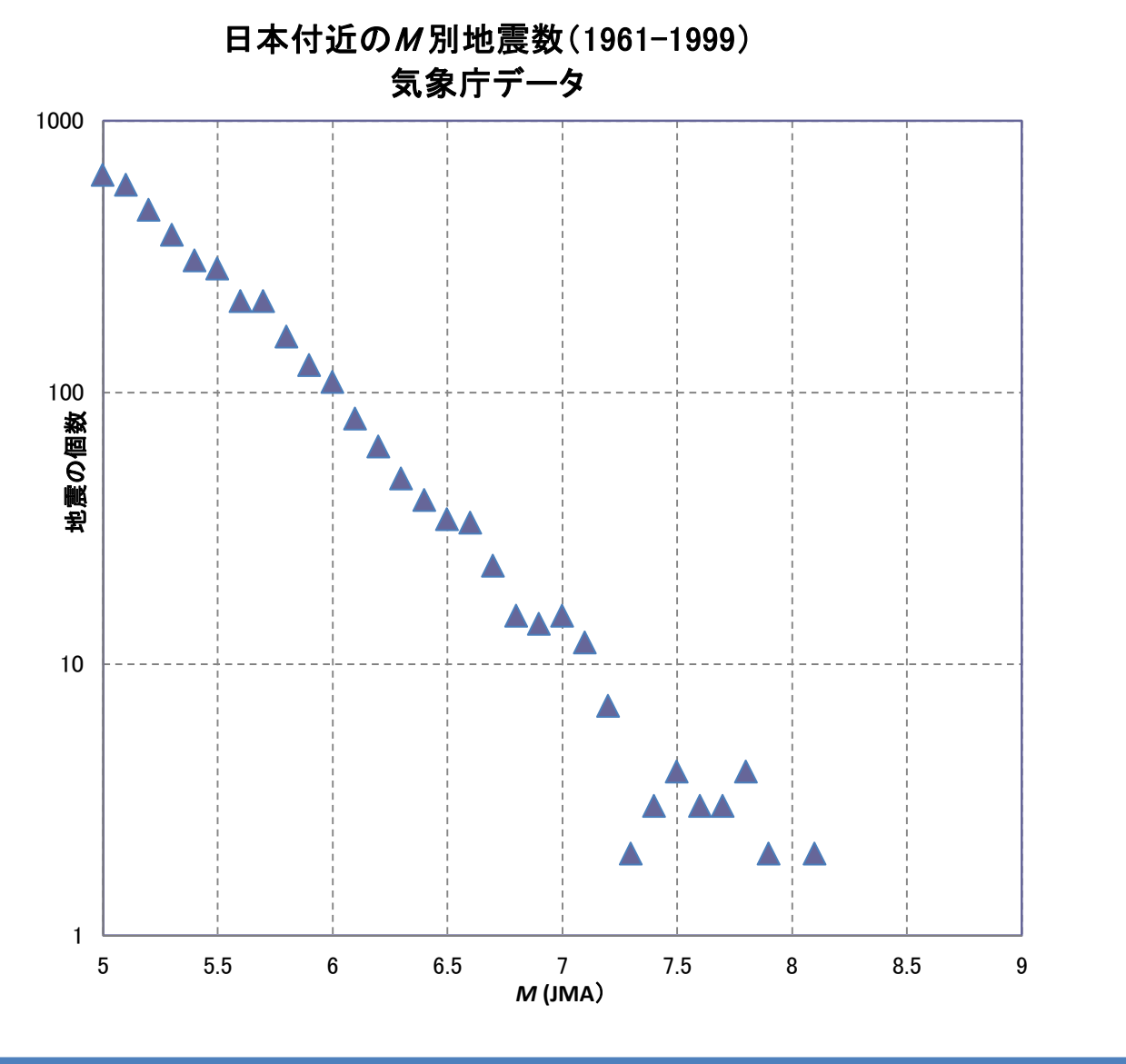
岡本 義雄 (大阪教育大学非常勤講師) yossi.okamoto@gmail.com, <http://yossi-okamoto.net/>

Yoshio Okamoto (Kamnoetvidya Science Academy, Thailand, visiting teacher)

2018年日本地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ) 5/20 POSTER発表

はじめに

地震のサイズと頻度に関する「Gutenberg-Richter則」は地震の経験的統計則として専門家には有名であるが、一般にはあまり知られず、中学高校の教科書にも詳細な記述はない。筆者はこの統計則の重要性に古くから注目し、「基石モデル (大塚, 1971)」などの高校地学における教材化を図ってきた (岡本, 1999)。一方、G-R則を再現する試みとして有名な、バネブロックモデル (端緒はBurridge-Knopoff,1967) の教材化は、加藤 (2011) などに始まる。筆者はこのモデルに触発されて、以後教材化を試行してきた。試作モデルは鉄厚板のブロックと輪ゴムを組み合わせて教室で地震発生の統計的性質を再現する興味深いモデルであった (岡本, 2015)。しかし、鉄厚板材の本格的な切断加工を必要としたため、教室への普及は難しかった。今回このモデルを複雑な金属加工なしに、身近な百貨均一ショップで入手できるパーツを中心に組み上げる改良を行った。さらに自作駆動装置+動画より運動物体を自動追尾するフリーソフトによる、ブロックの運動解析についても、目視での観察と比較して報告する。



装置と実験の手順

<材料>

- ・**ブロック**: 生け花用剣山 (大角, 36mm角, 70g, 台: 鉛+鉄釘) 2個重ねて1ブロック. (百貨均一ショップで入手可能)
- ・**バネ**: カラー輪ゴム (16番, 60mm径, 弾性定数約35gw/cm)
- ・木枠 (外枠92×21cm) ・組み立てなどは右図を参照.
- ・塩化ビニール製床シート (1mm厚) : **stick-slip運動に重要.**

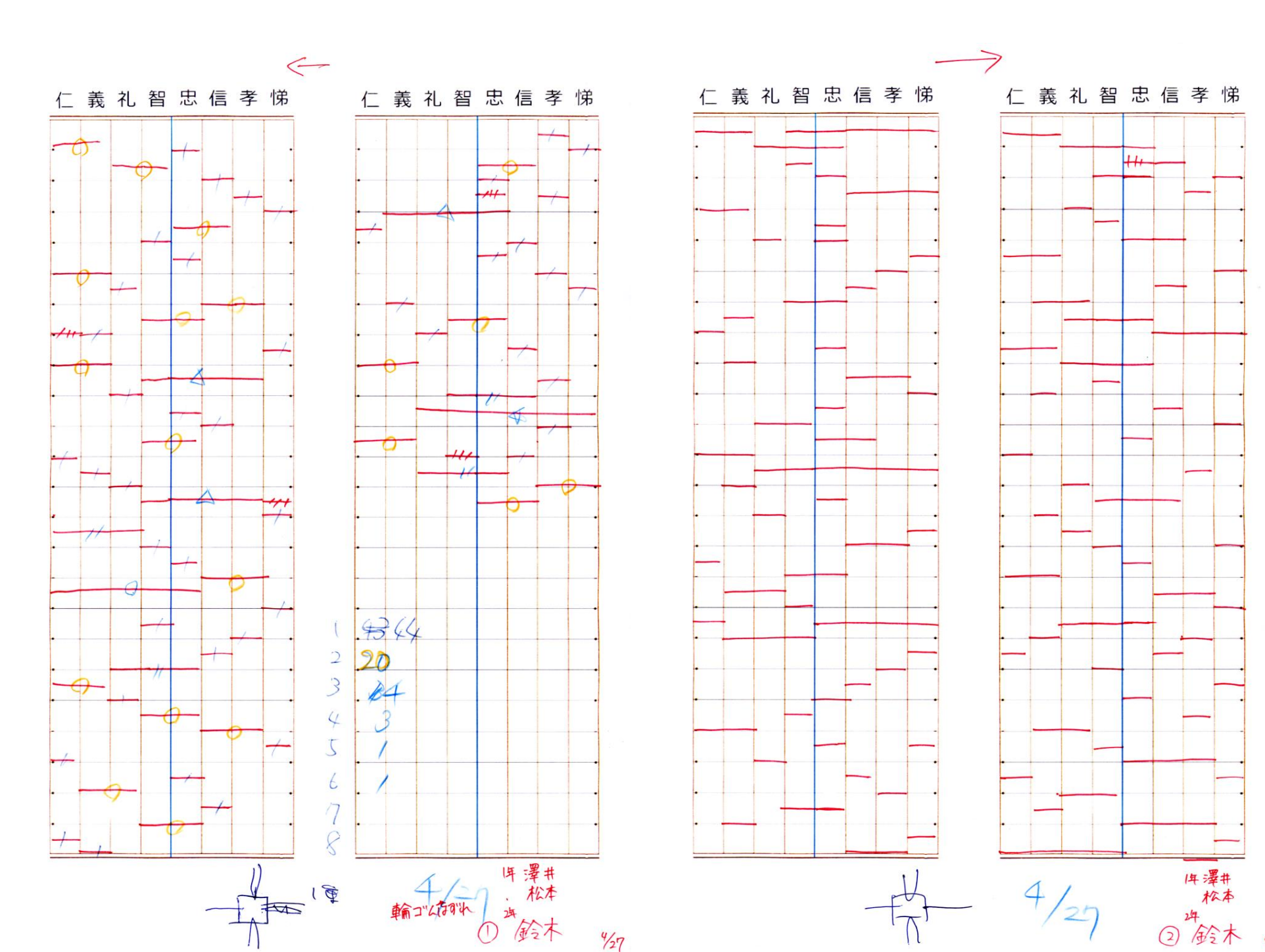
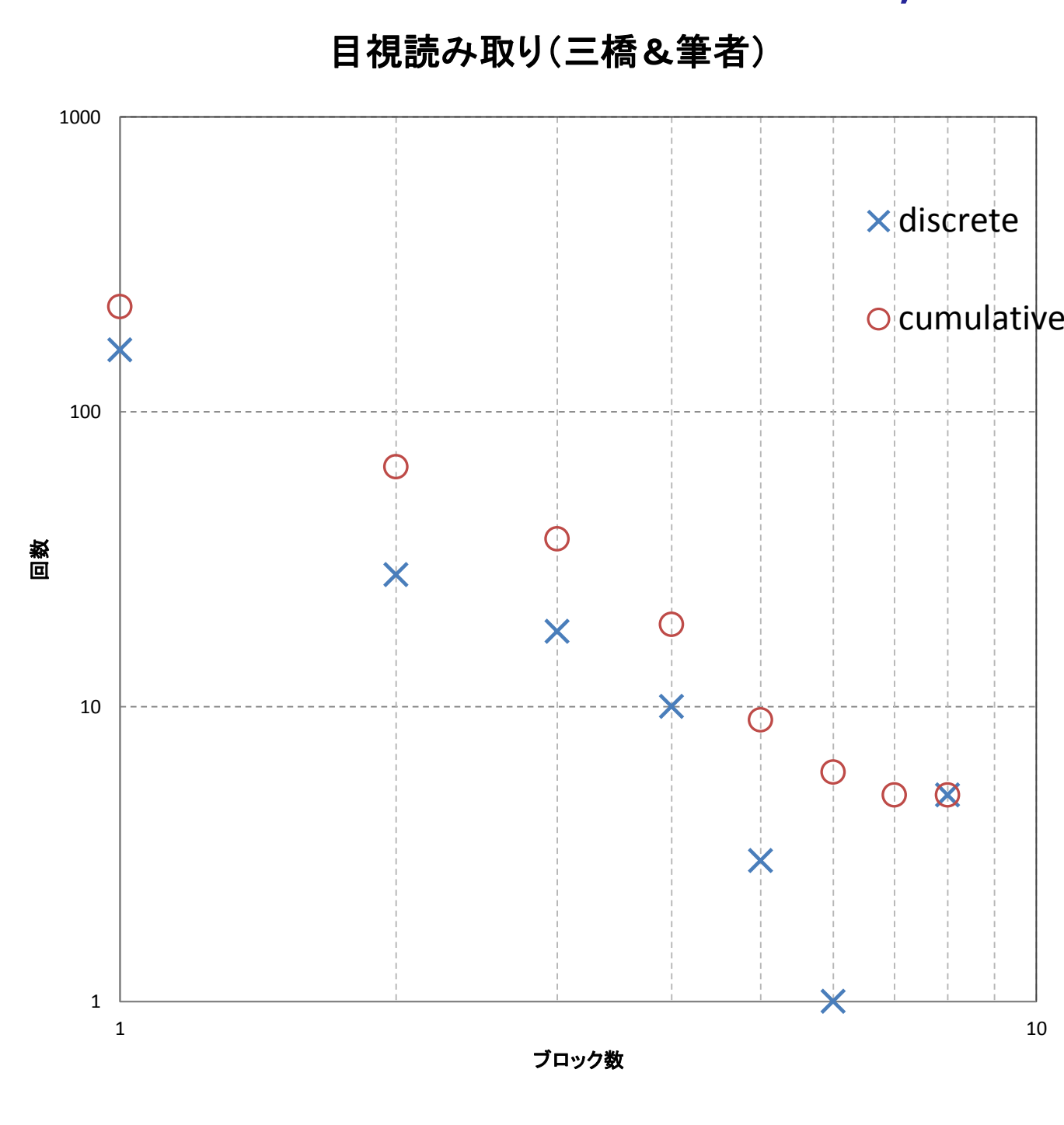
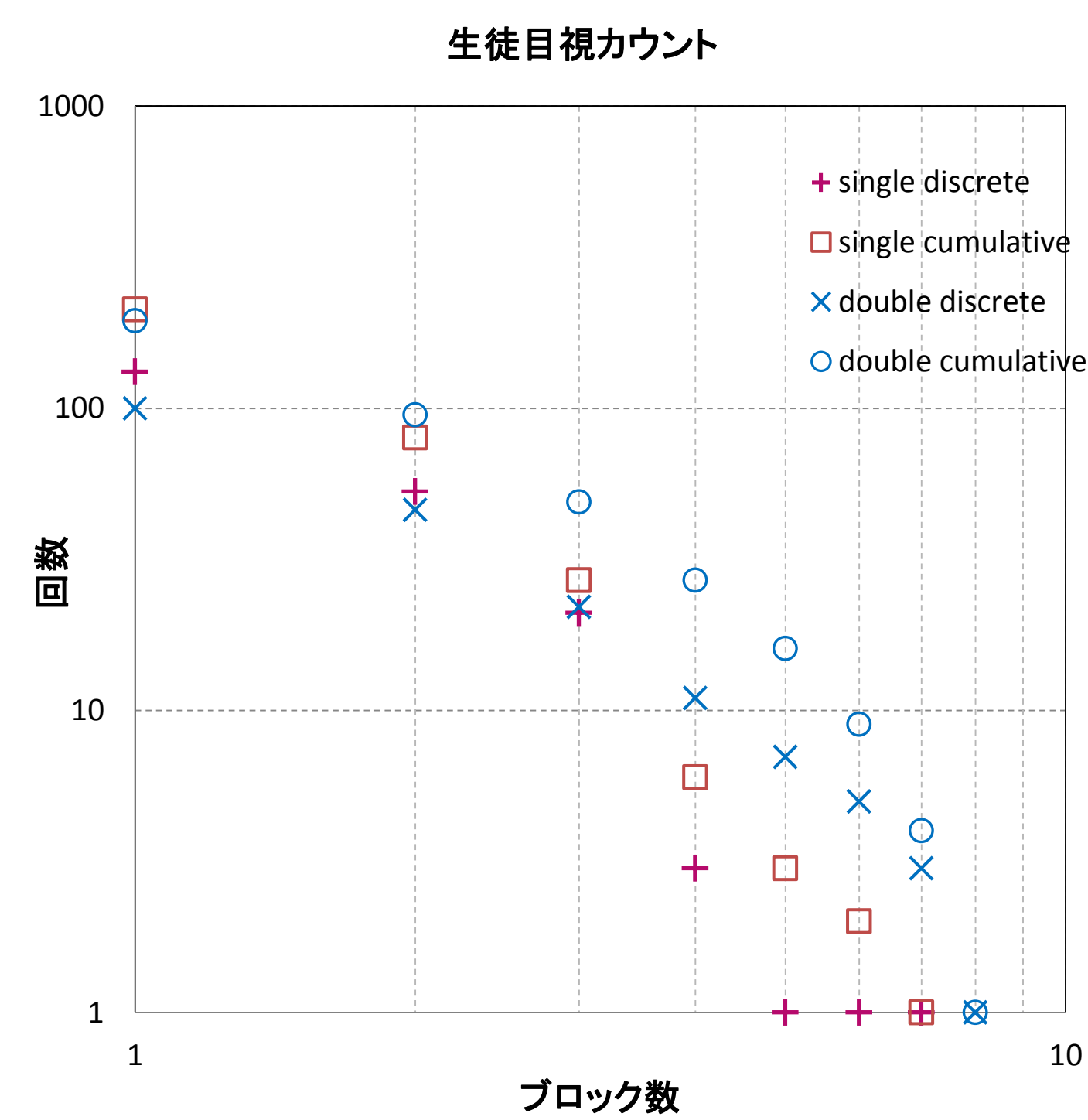
<実験>

- ・木枠を持ってゆっくりと長さ方向に動かす.
- ・注視しながらブロックが動くと、木枠を停止.
- ・目視によりスリップしたブロック位置を時系列で記録.
- ・その際同時に動いたと思われるブロック数に着目.
⇒同時のスリップ認定は“隣同士”に限る.
- ・同時に動いたブロック数を地震の大きさと読み替え.
- ・地震の大きさ (M相当) vs.個数の両対数グラフ作成.
- ・ブロック間のゴムの強さを変更してみる. など.



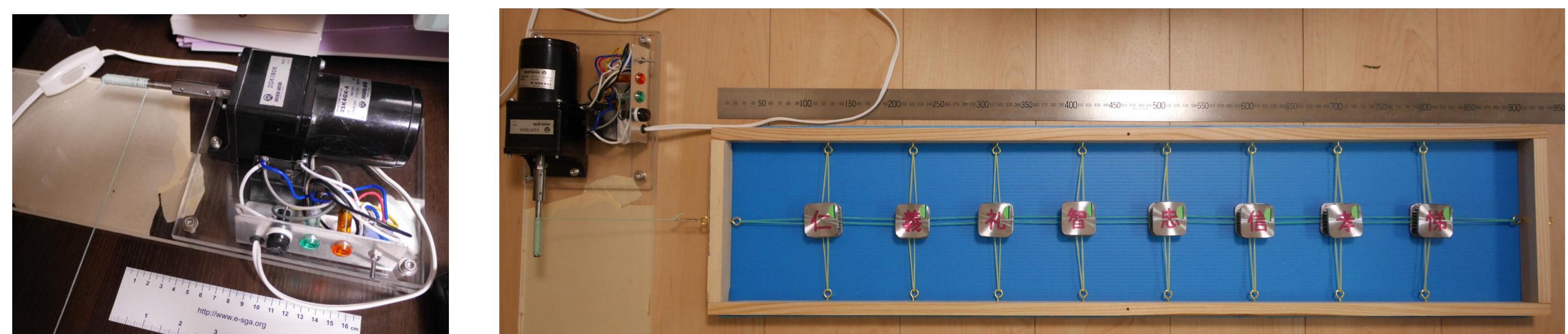
目視によるカウント例

- ・高校生の例 (G-R則は知らない) ・大学生+筆者 (G-R則は認識, 剣山30mm) ・記録用紙例 (高校生)



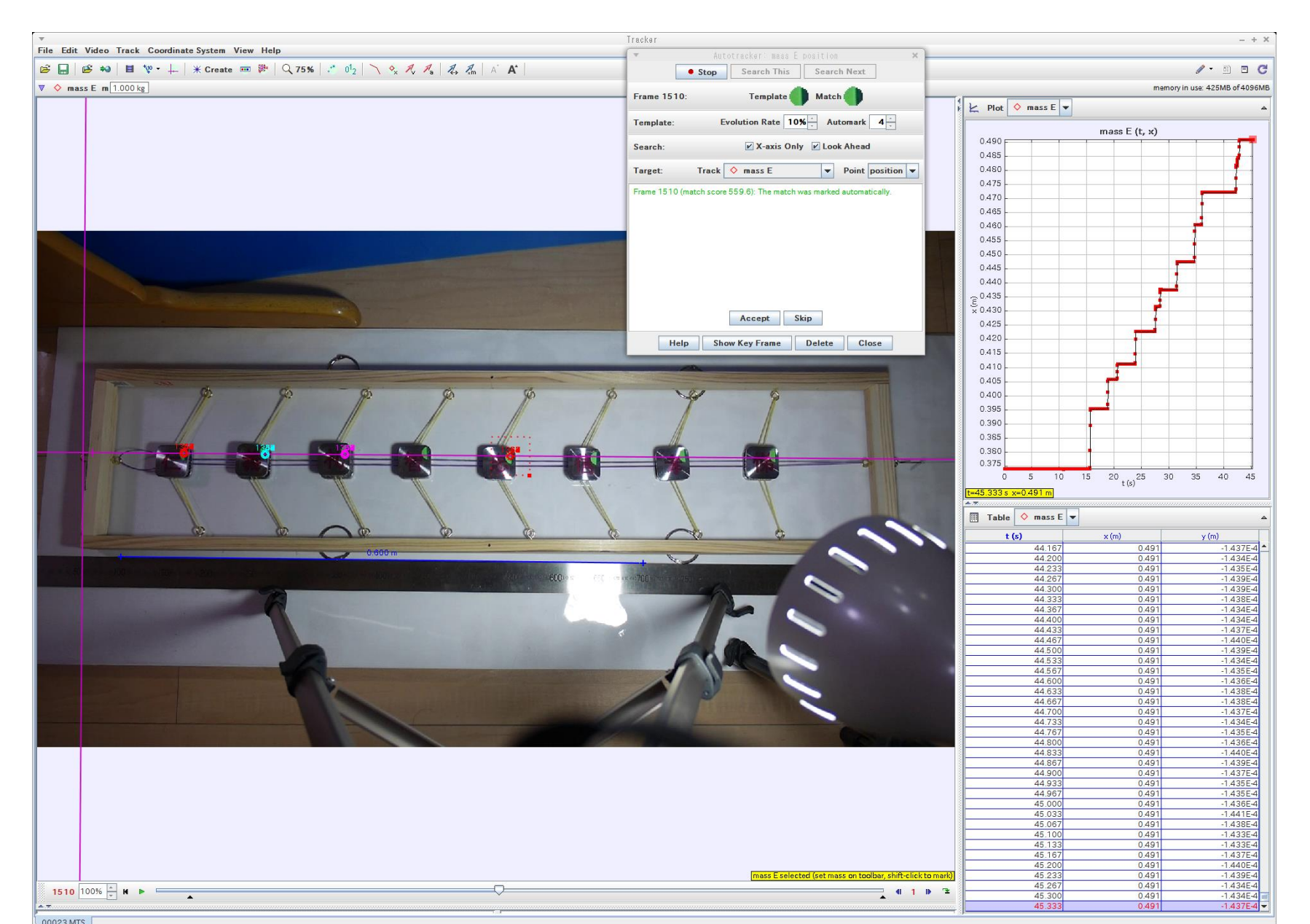
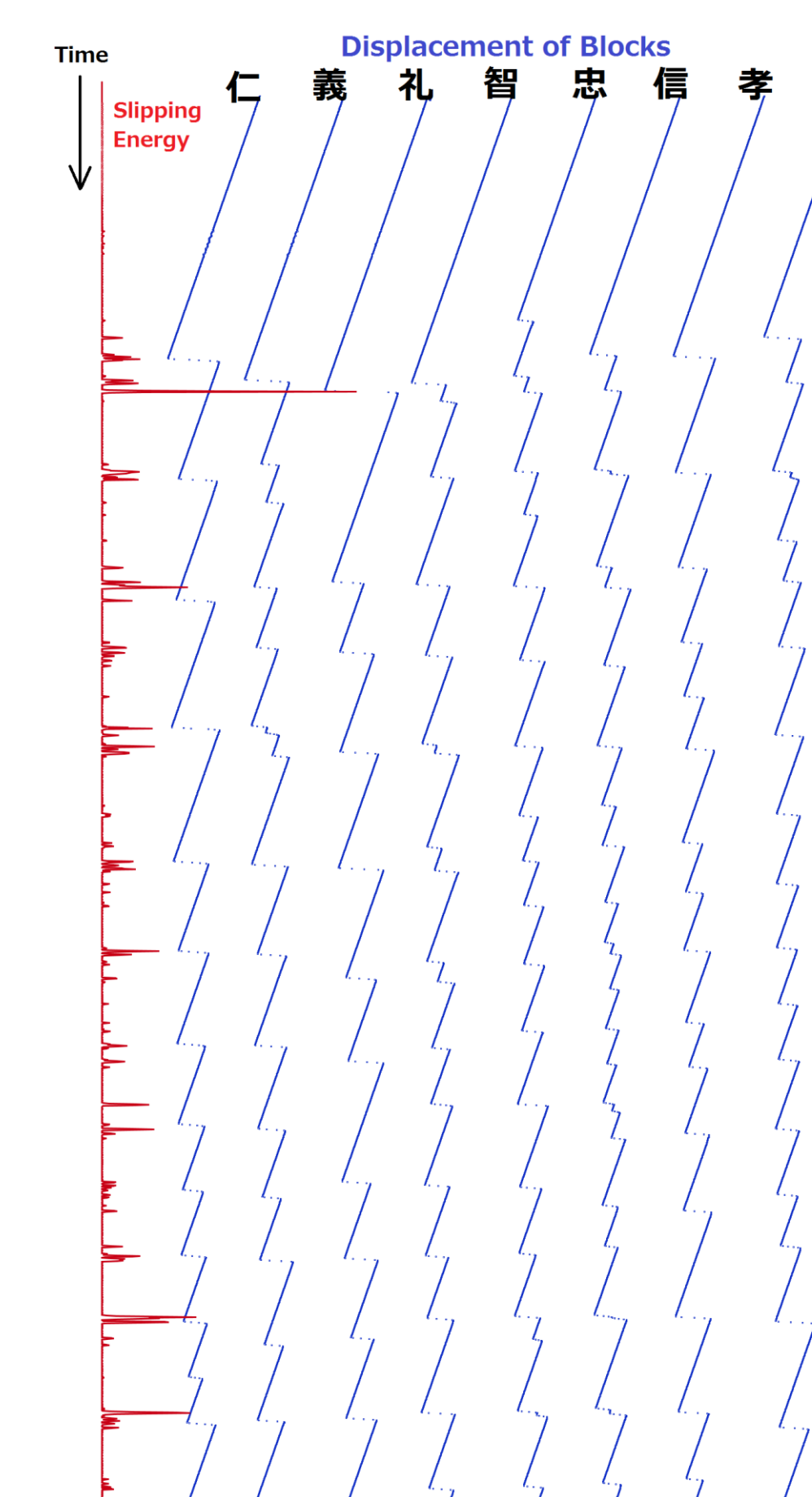
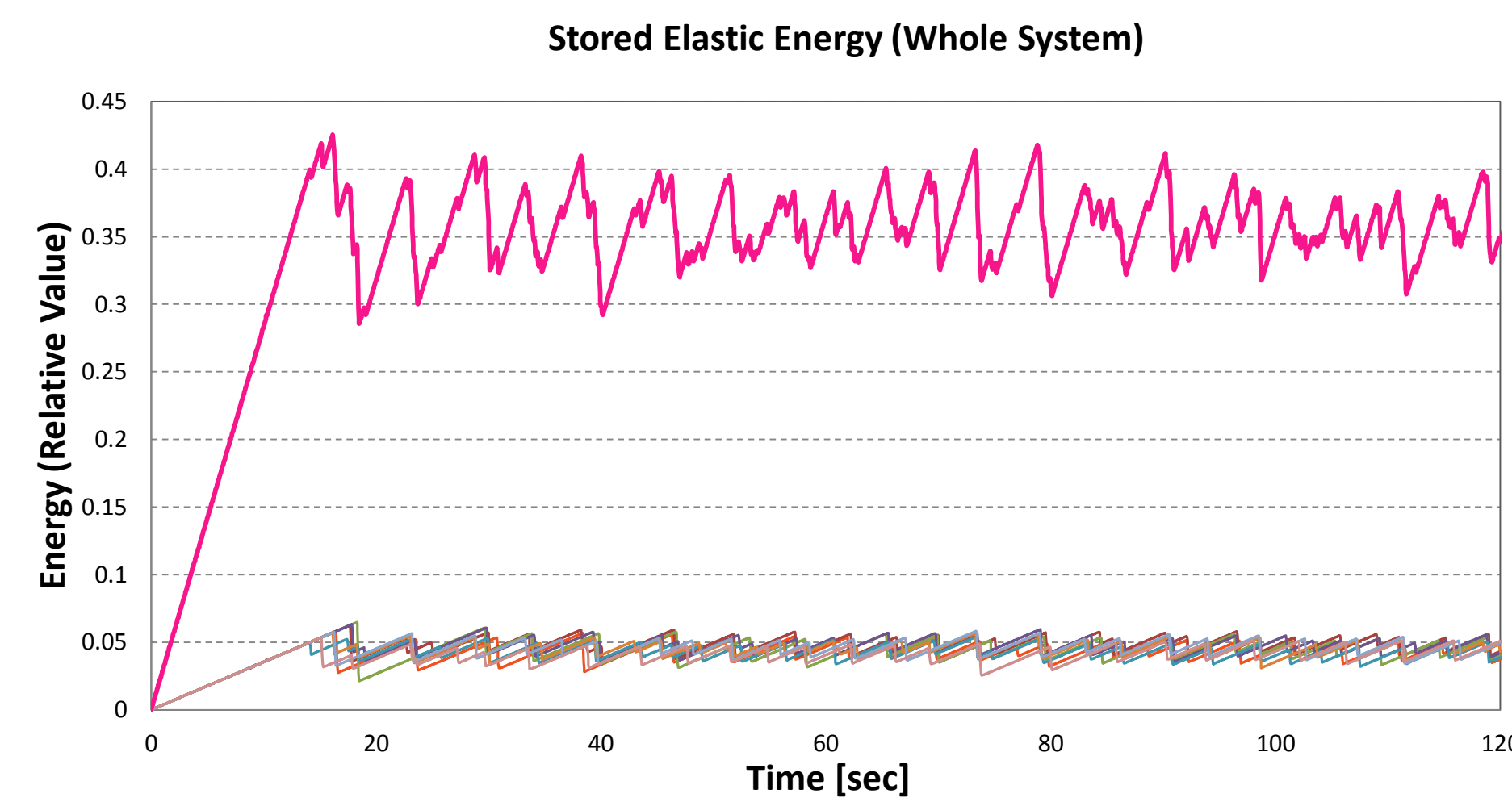
外部駆動装置

- ・モータドライブ装置
オリエンタルモータ+1:180減速ギア (2SK4GK-A+2GK-180K)
- ・駆動速度: 3.6mm/秒

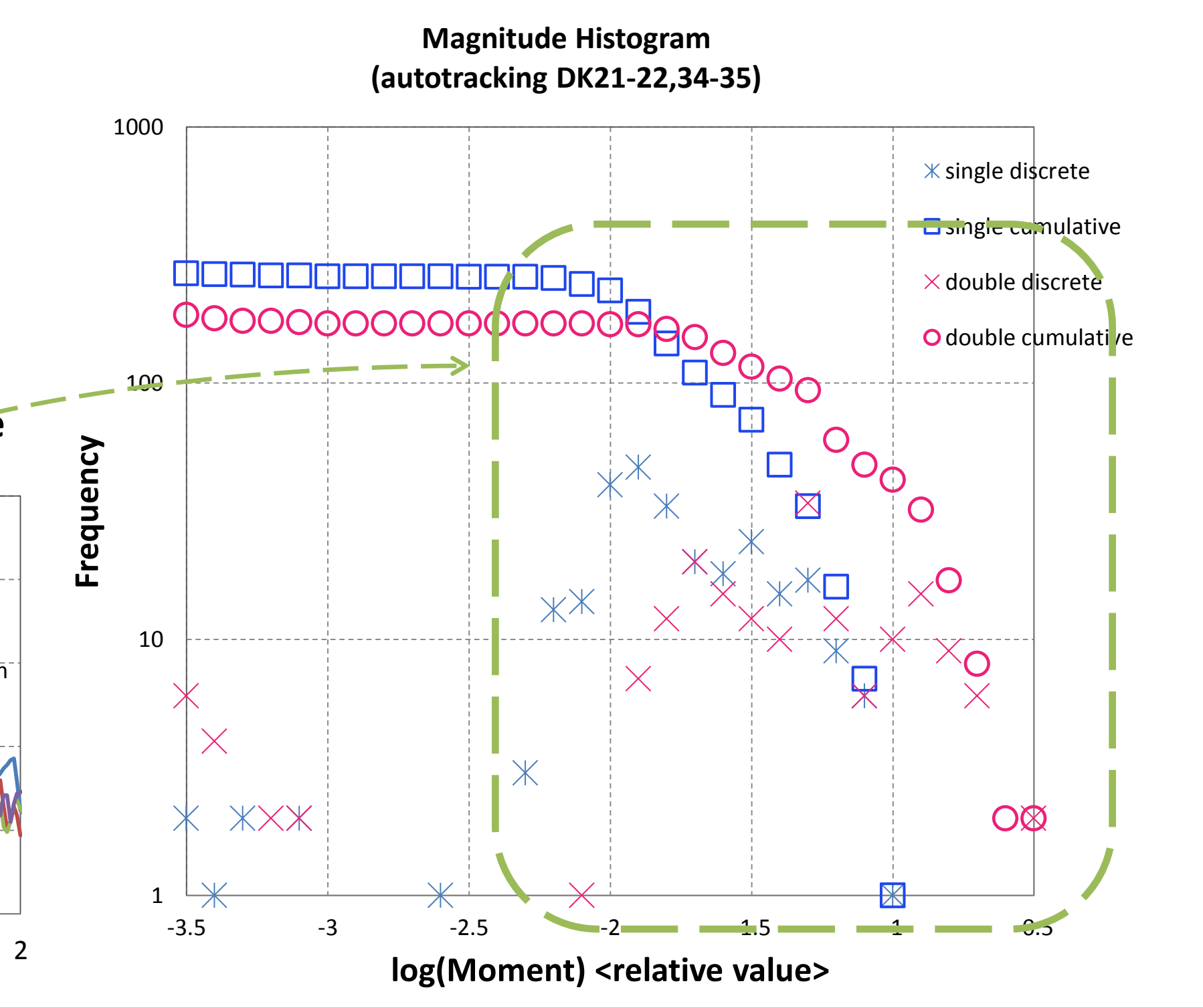
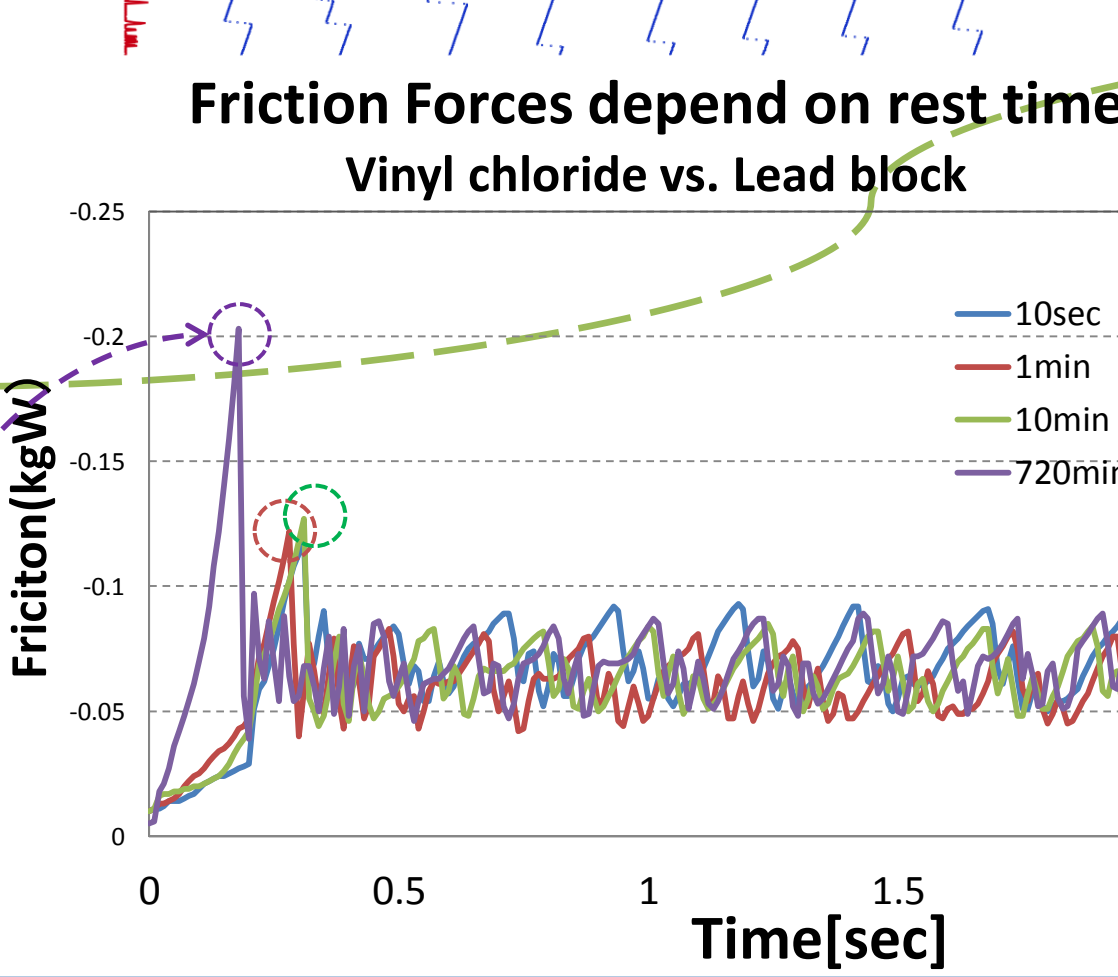


Trackerを用いた解析

- ・自動駆動下でビデオ撮り (HD, 30fps)
- ・Tracker (フリーソフトウェア, 文献にURL) で解析
ブロックにマーカー指定
マーカーを自動追尾, 座標データ生成 (右図)
8個のブロックの動きを座標化 (右中図)
- ・弾性エネルギー (滑り時) の時系列の例 (右中図)
上記座標データより, ばね (輪ゴム) に蓄えられた弾性エネルギーを計算. (Burridge-Knopoff,1967)



- ・log(ブロックの滑りの総和) vs. 頻度
 Σ (滑り距離) : モーメント (Carlson & Langer,1989)
このlogを地震のサイズ (マグニチュード) とする.
⇒目視のブロック数に比べて, “直線性”が落ちる. (加藤, 2011と同様の傾向)
- ・摩擦のメモリ効果 (例えば坂口有人「四万十帯に便利」Web)
塩化ビニル床材にはメモリ効果がある (右図)
SIMPOデジタルフォースゲージFGP-5で測定.
⇒長時間放置した際の最大摩擦力が増加



考察

1. 目視によるブロック数カウントはTrackerを用いたエネルギー解析より直線性 (べき乗性) に優れる.
2. 地震のサイズを滑りブロック数で代替することは, 教材として定性的には許され, より効果的ではある.
3. 目視に有効なStik-Slip条件は輪ゴムの強さ, ブロックの重さと床材の摩擦が重要.
4. 滑りの空間 VS. 時系列 変化も興味深い (左: 記録図参照)
5. 全エネルギーの時系列は加藤(2011)の結果と同様に「Time Predictable」でも「Slip Predictable」でもない.

結論

1. 目視によるカウント及び, ブロック動体解析は, すべりの大きさ vs. 頻度が「べき乗」の性質を示唆.
2. 定性的なG-R則の成り立ちや, 地震の空間的・時間的性質を考えさせる教材としては成功.
3. 本ブロックモデルのような定量的な運動解析には“Tracker”は大変優れたツール.
4. 計算機シミュレーション (現在開発中) と併用した解析が今後の課題.

参考文献・謝辞

<主な文献>

- 加藤 護 (2011) : Burridge-Knopoff モデルのアナログ教材の開発, 地震第2輯, **63**, 243-246
- 岡本 義雄 (2015) : 地震の規模別分布とバネ-ブロックモデル, 日本地学教育学会第69回全国大会福岡大会講演予稿集
- R. Burridge and L. Knopoff (1967) : Model and Theoretical Seismology, BSSA **57**, No.3, 341-371
- J. M. Carlson and J. S. Langer(1989): Mechanical model of an earthquake fault, Phys. Rev. A **40**, 6470-6484
- Tracker Website URL: <https://physlets.org/tracker/>

<謝辞>

本モデルの着想は, かつて東京大学地震研究所1階ロビーで稼働していたバネブロックモデル (桑野修氏, 現JAMSTEC設計) によるところも大きい. 大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎地学部 2年生 鈴木万結子, 岡田美鈴, 金澤涼夏 1年生 奥出凧津子, 澤井実緒, 松本茜さんには測定に協力をいただいた. 同校地学部顧問井村有里先生には地学部生徒の協力とデジタルフォースゲージ借用の便宜をいただいた. また大阪教育大学三橋礼君にも測定試行時に協力をいただいた. これらの方々へ感謝します. 本研究には平成29年度下中科学研究助成金の補助を得ています. 本教材に関する詳細は筆者のWebサイトで順次公開予定にしています.