

『鉄道が地磁気に与える影響を測る』“ちはやぶる卑弥呼の里の段”大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎地学部

発表者 2年 中嶋菜衣,1年 小林修平 亀田夏帆

科学・技術フェスタin京都 於:京都国際会館 2010年6月5日 ※なお本発表は日本地球惑星科学連合2010年大会高校生セッション発表のものを再構成しました。

1. これまでの経緯

- 私たち地学部は手製の地磁気計を用いた地磁気観測を行ってきた。当初の地磁気そのものを精密測定することから、しだいに地磁気に影響を与える外部要因を調べるということに目的が変わった。主な研究としては、
 - ◆学校敷地に10m間隔の格子点を取り、各格子点における地磁気の全磁力、伏角の地図を作成(2008年度)
 - ◆修学旅行を利用した沖縄・大阪・北海道における地磁気の大さきの違いについての観測(2009年度)。
 - ◆学校の側のJR環状線などの鉄道が与える地磁気への影響の観測やそのモデル実験(2009年度から引き続き)
 - ◆今回はそのうち、鉄道線路が地磁気に与える影響に絞って現地観測とモデル実験を多数行い、その結果に考察を加えた結果を紹介する。

2. 観測と解析方法

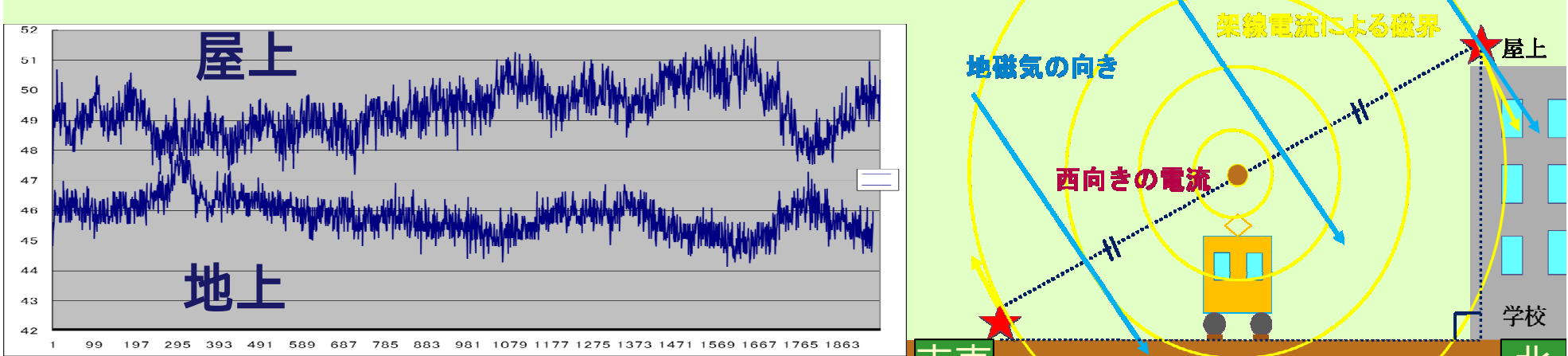
- ◆観測地点に三脚をセット、あるいは地面に3軸地磁気+加速度センサ(TDS01V:地磁気と加速度3成分を出力、秋葉原にて6800円で購入)をじかに置く。水準器と方位磁針で設置確認。地磁気センサの出力をチェック。
 - x成分が小さいこと(正しく北を向くこと)など確認。
- 註 x:南北成分(北が+) y:東西成分(東が+) z:鉛直成分(下が+)(単位は μT で出力)
- ◆ノートPCを接続、測定用専用ソフトウェア(measurement tool)で地磁気を測定、x,y,z3成分データを表計算ソフトExcelでグラフ化(測定時間は約3-5分間、サンプリング周波数は約10Hz)。



3. 鉄道による磁界測定を始めた理由

- ◆従来から、活動場所である本校地学教室で地磁気を測定する度に、大きな変動を観測していた。
- ◆この原因をすぐ近くを通るJR環状線ではないかと考えた。
- ◆電車を運行させるため、架線(トロッコ線)には大きな直流(電圧:1500V、電流数100Aと文献にある)が流れるはず。
- ◆このトロッコ線を軸に右回りで円を描く磁界(アンペールの法則)は、空からやってくる地磁気とぶつかるのではないか。
- ◆すると水車のように地磁気の方角とトロッコ線の磁界の回る方向が一致する観測点では地磁気が強まり、逆にぶつかりあう観測点では弱まるのではないか
- ◆電車の通過などで電流が変化すれば、観測される地磁気も変化するという着想に基づき、観測は始まった。

4. 環状線をまたぐ観測と結果



- ◆様々な試行の末、環状線を挟む学校の屋上と反対側の道路上で観測→結果は予想通り、全磁力のグラフは見事な逆位相になった(以下、グラフの縦軸の単位は $[\mu T]$ 、横軸はサンプル数、約0.1秒きざみ→0.1倍すると秒単位)
- ◆電車の架線電流(き電流)が磁場を形成し、それが地磁気に影響を与えるという当初の予想が当たった!?
- ◆しかし環状線は複線で電車の往来も激しく、架線電流の流れが複雑だと考えられ、これだけでは何とも言えない--。

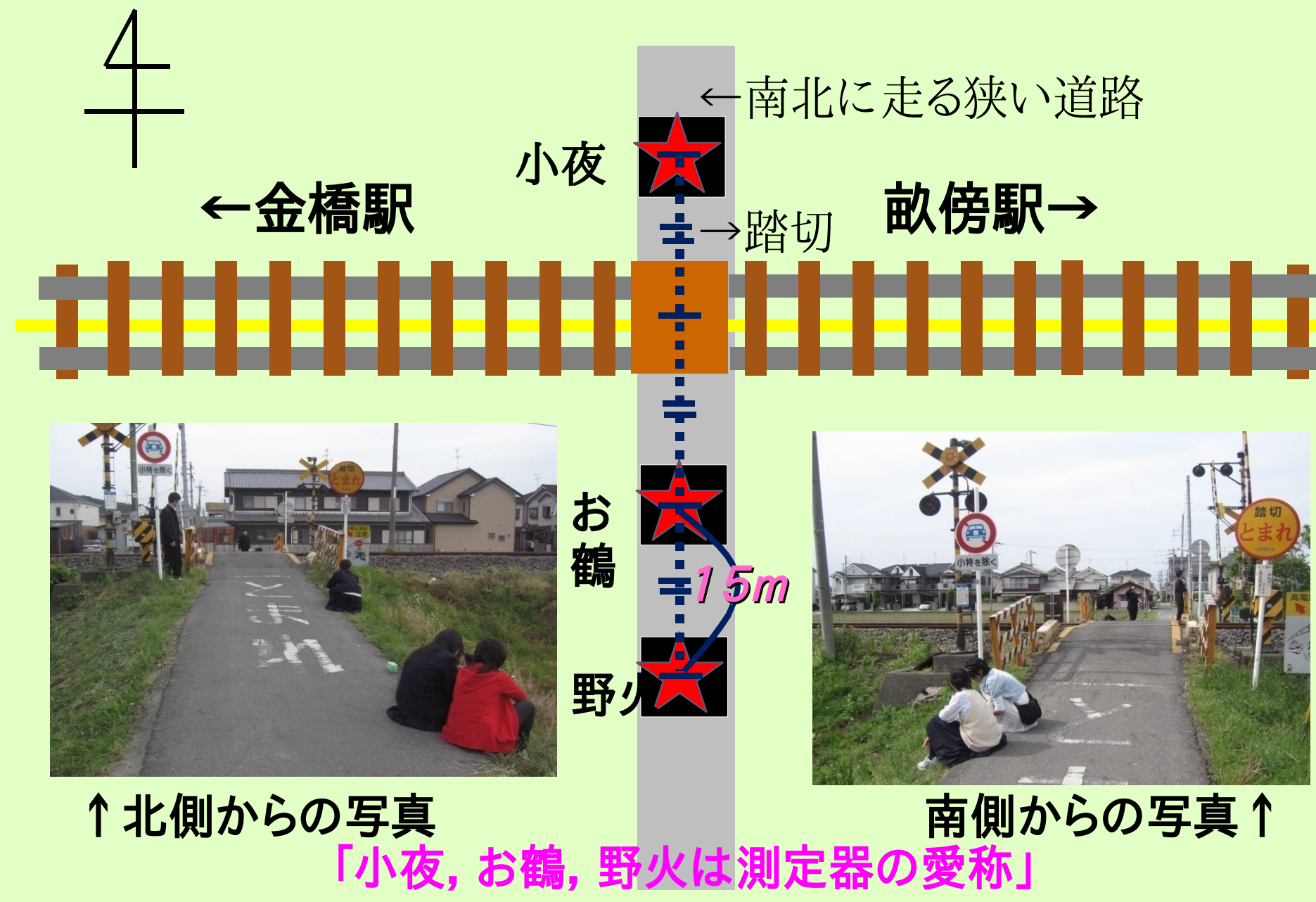
5-1. 新たな観測地点と観測方針

- ＜観測点の条件＞
 - ◆条件が単純な観測点(単線で東西線路)を選ぶ。
 - ◆学校から比較的近い(交通費が比較的安く済む)。
 - ◆自治会行事「百軒徒歩」で土地勘がある辺り。
 - ◆→最適地(JR桜井線沿線)をGoogleMapで発見!
- ＜観測方法＞
 - ◆観測点は線路と直交し南北に走る道路上
 - ◆線路からほぼ等距離に地磁気計を置き、同時観測を行う。また3台を用いて一方に2台の地磁気計を置き、線路からの距離で地磁気変動がどうなるかも調べる。

5-2. 観測点地図



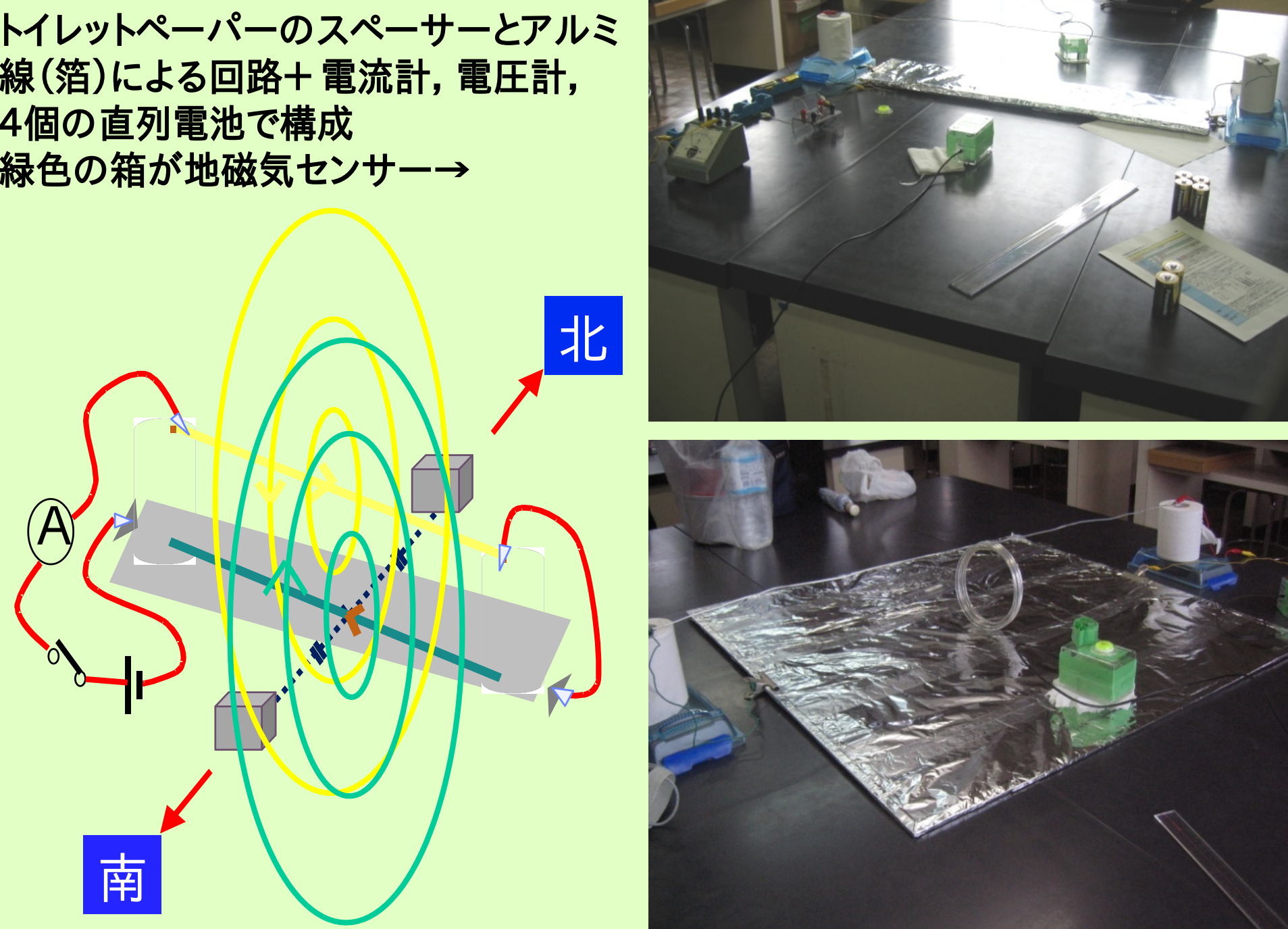
5-3. 新観測点(東西線路)の地図(JR桜井線沿い、卑弥呼の里近く)



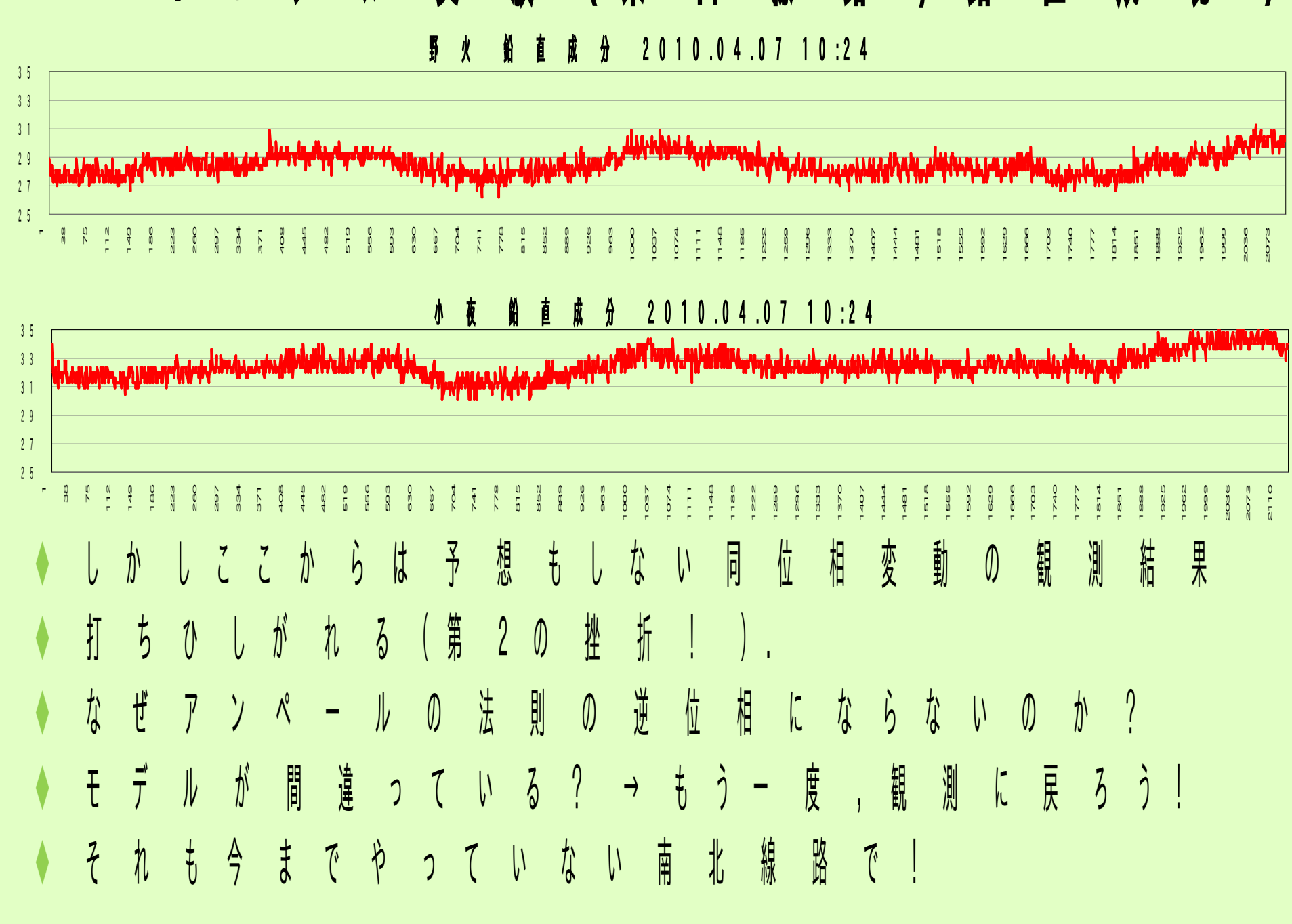
6-1. 学校に帰って、モデル実験の構築

- ◆観測で埒が開かないため、地学教室内で身近な材料(アルミ線など)で組み立てたモデル実験を開始。
- ◆まず当初の予想の**トロッコ線電流のみが磁界を作るという仮説**を一旦引っ込める。
- ◆そして線路を流れる**帰線電流の磁場も合わせて考えるモデル**を作成。
- ◆帰線電流が地面全体を流れて帰るモデル(**アルミ箔モデル**)と線路で帰るモデル(**アルミ線モデル**)の2種類を作成し、電流は電池で与え、**スイッチを入れる、切るの動作でどのような地磁気への変化があるかを検証**した(6V、1A程度)。
- ◆観測はアルミ線をはさんだ両側で同一条件の下に行った。当初全磁力や伏角を計算し、後から各成分の変化を直接解析した。状況に応じて、ノイズ除去の移動平均処理も行った。
- ◆なおアルミ線は当初東西に置き(観測と同じ)、それから南北にも置いて実験を行った。

6-2. モデル実験



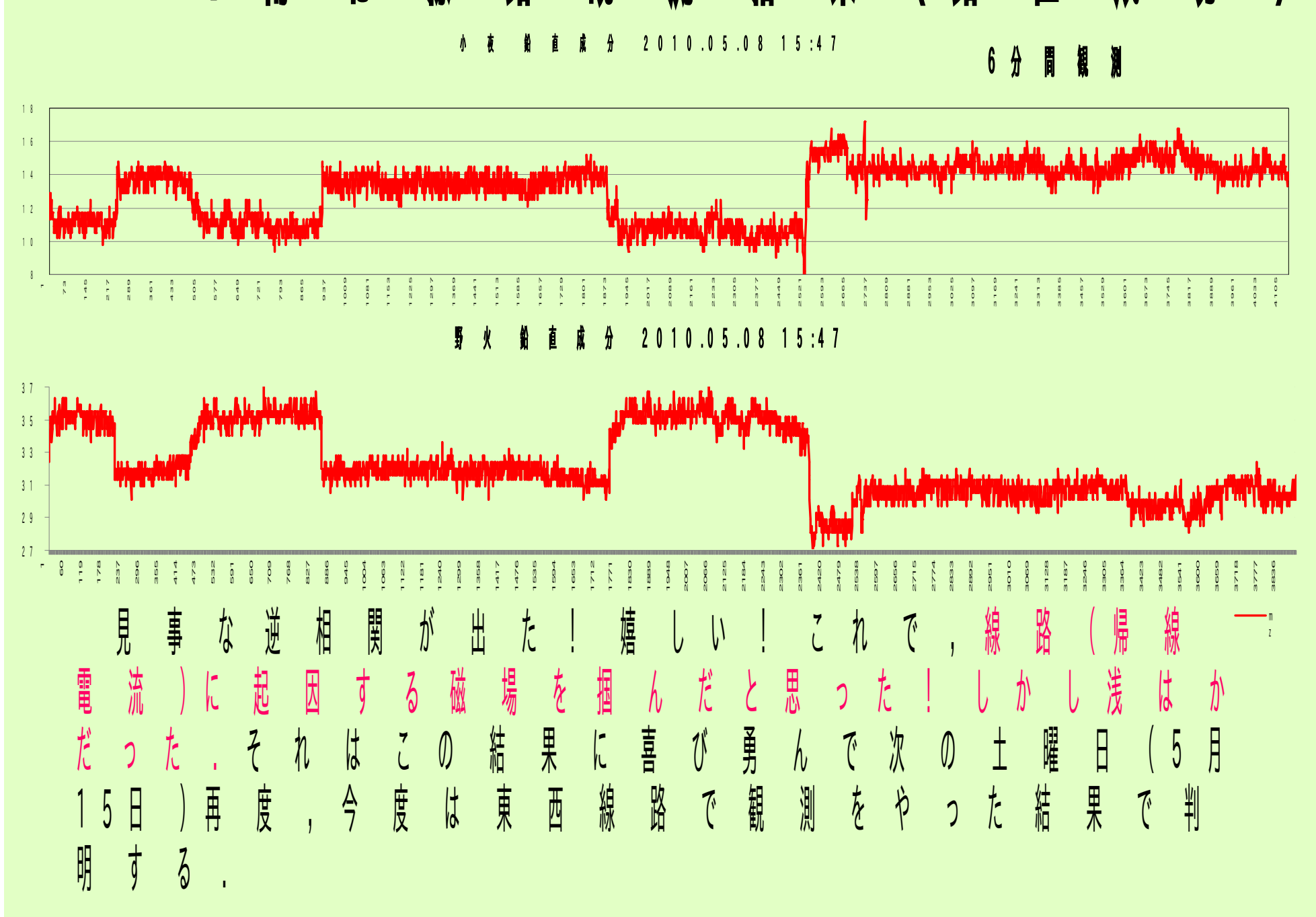
6-3. モデル実験(東西線路、鉛直成分)



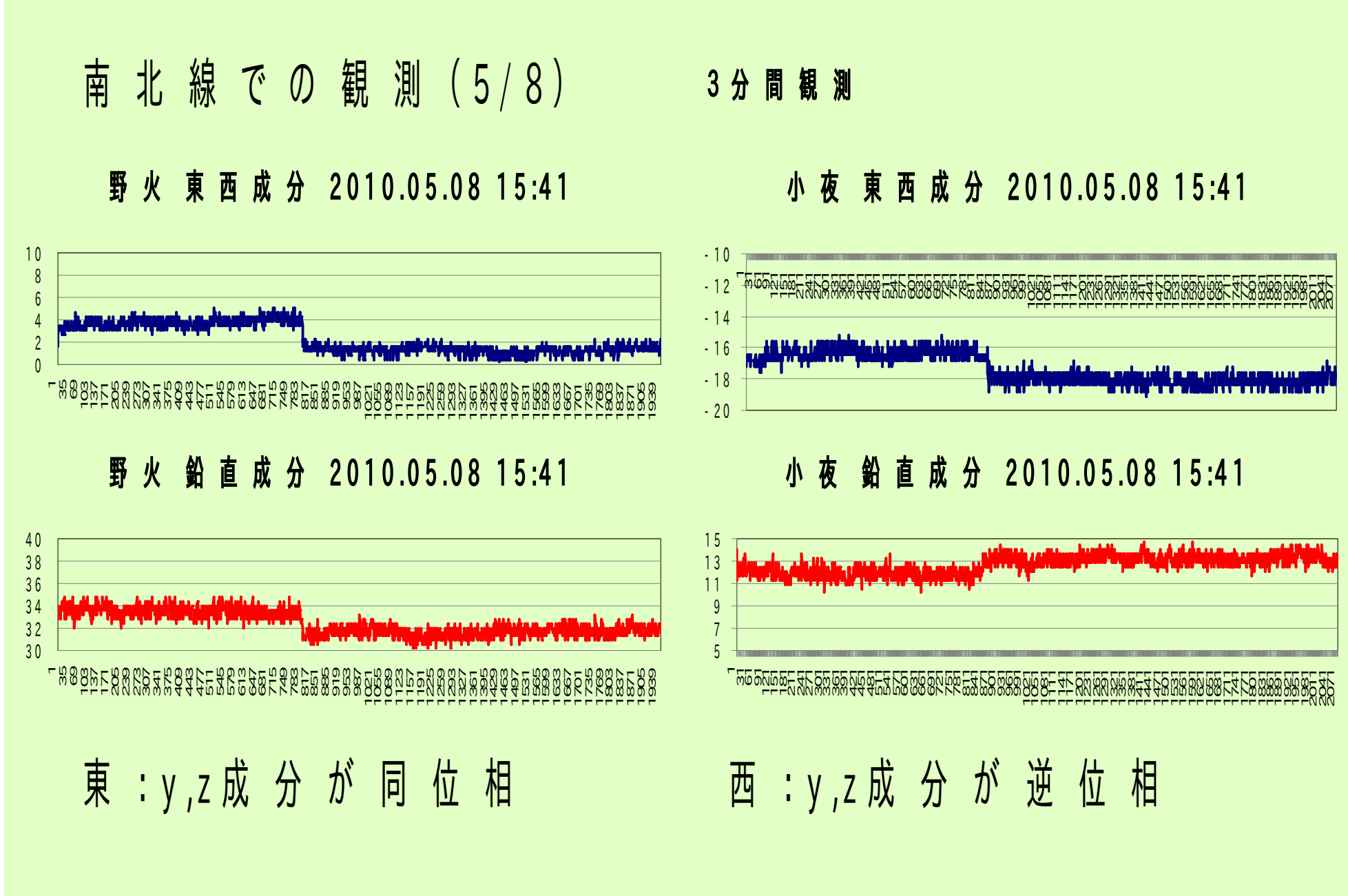
7-1. 南北線路での観測の方針

- ◆架線の影響は無視、線路の帰線電流の磁場を観測する。→観測点を線路に接近(5m)
- ◆アンペールの法則より、帰線電流に励起されるはずの磁場を観測(東西観測点)
- ◆z成分のみ変化、x成分に変化なしのはず。
- ◆観測地点は同じ桜井線が南北に折れて直線を形成する長柄駅の少し北の踏切を採用
- ◆さっそく観測を行った(5月8日土曜日、もう学会が2週間後に迫っている!)。今度こそ良い結果が出てくれ!
- ◆この時点では未だ 磁界源が架線or帰線(線路)のどちらであるかが特定されていない!

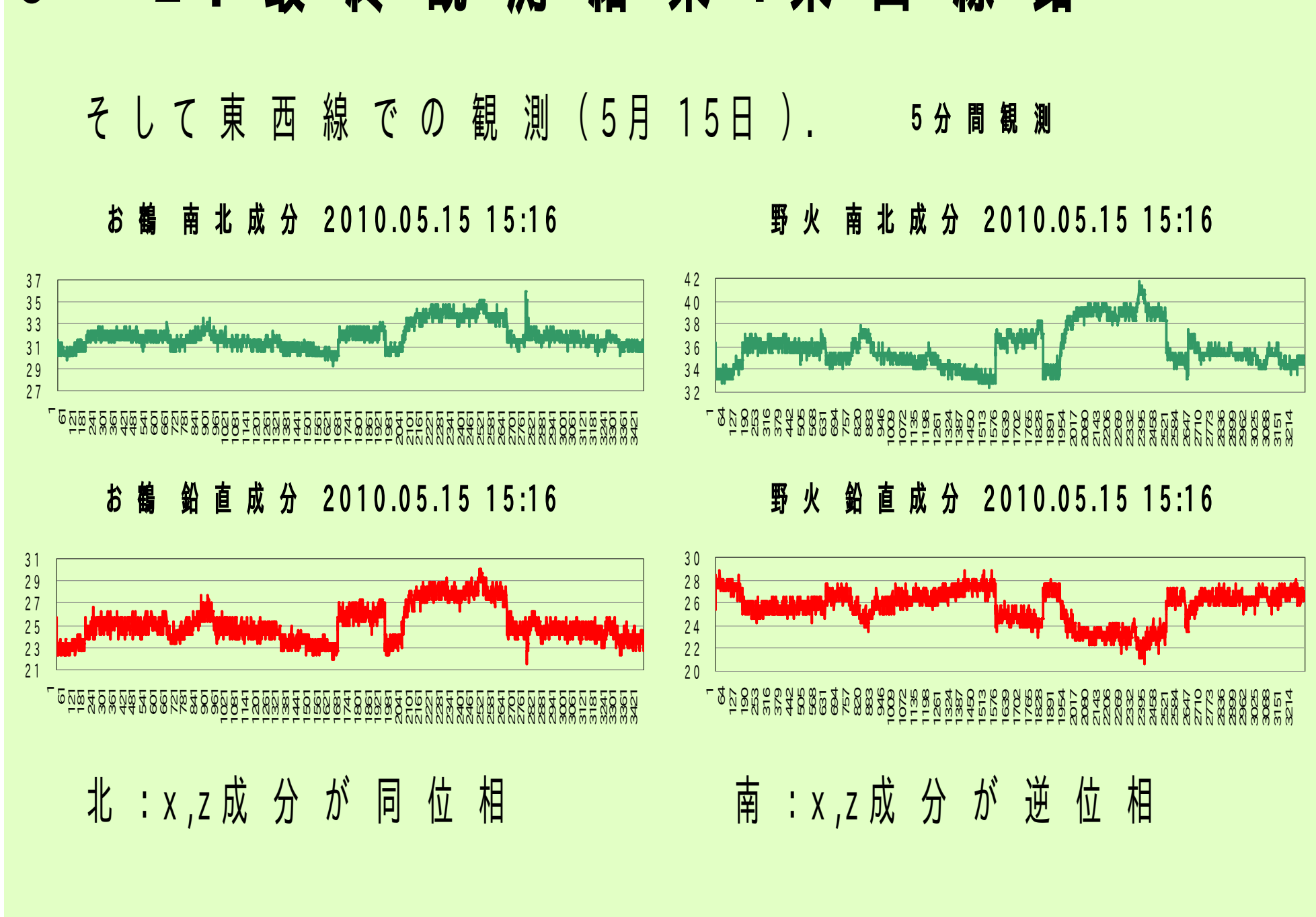
7-2. 南北線路観測結果(鉛直成分)



8-1. 最終結果:まず南北線観測



8-2. 最終観測結果:東西線路



9-1. 最終結論と考察

- ◆地磁気変動は線路から離れると小さくなる(2台の計測器を同方向に設置し、地磁気変化の距離減衰の確認)。
- ◆右図のように変動の各成分の合成ベクトルは、架線電流に起因する回転磁界と見事に一致する。
- ◆地磁気成分の平均値は線路を挟んで強弱に分かれる傾向がある。以上3つの結果から、
 - ◆**今回の観測の地磁気変動は鉄道架線(トロッコ線)電流の変化に起因すると結論する。**
 - ◆線路を帰る帰線電流の効果が観測されない理由は不明のまま。

9-2. 最終結論と考察(続き)

- ◆観測された地磁気変化の最大値($5 \mu T$)を用いてアンペールの法則($I=2\pi rB/\mu_0$)から架線電流の変化を計算
- ◆桜井線東西線では約200A(通常2両、約30分間隔、惰性運行、単線)
- ◆環状線では約1200A(通常8両連結、約5分間隔、加減速運行、複線)
- ◆これは車両の台数や諸条件などから考えて極めて妥当な値では?
- ◆モデル実験で逆位相が出なかったのは、
 - 1)逆位相で流れる電流の効果が打ち消し合った。
 - 2)実際の線路上に電流を供給する複雑な回路構成を再現できてない。
 - 3)さらにモーターなどの抵抗を伴った回路を導入できなかった。などに原因があるのではないかと今は考えている。
- ◆同規模の電流で線路を帰るはずの帰線電流による地磁気変動が今回観測できない理由は今のところ不明
 - 1)地面に漏洩している。
 - 2)違う場所から変電所に帰っている。
 - など幾つかの仮説は考えられるが???

10. 今後の課題と展望

- ◆地磁気センサの比較校正をきちんとやること。
- ◆今回は磁気変動について調べたが、磁気成分の平均値についての考察は行っていない。
- ◆複数の観測での観測結果の再現と確認
- ◆帰線電流の謎がこれにより深まった。
- ◆電車の走り方(加速時、惰性運行時)の違いの把握
- ◆JRの技術部などに、帰線電流の資料や実際の電流データなどの提供をお願いする。
- ◆依然として、本校地学教室内の地磁気変動の主原因はつかめていない(環状線のものに頼るには大きすぎる)。
- ◆観測時に気温や天候など他の要素との関連は掘めていない。など。

11. 研究を行っての感想

- ・高一の入部以来続けてきた。また鉄道に関してはJR西日本に多大なる寄付と高3受験生になってからの親の小言を受けながら頑張ったかいがあった。
- ・高校3年間ほとんどを費やしたけれど、今回結構はっきとした結果が出て嬉しかった!!
- ・観測時にお巡りさんや、周囲の人々に怪しまれるのが辛かった。
- ・電車の運転手さんにも不審がられてるだろうなー。
- ・桜井線の踏切で偶然通りかかった自転車押したおばちゃんに、「大教大やね!」と言われて驚いた。どうして知っているのだろう?
- ・メジャーと予備のセンサを持参する部員が観測に遅刻して焦った。
- ・つくば市のさらに奥の「気象庁地磁気観測所」は遠かった!
- ・エクセルの操作が抜群に速くようになった(これが受験に役立てばいいのだけど)。
- ・ようやく理解することが出来て非常に嬉しく思っています。
- ・卑弥呼の里で観測出来て嬉しかった!!

12. 謝辞

未熟な研究に誠実に助言をしてくださった気象庁地磁気観測所のスタッフの皆様、本当にありがとうございました。
集合率が悪く、顧問に習い自由奔放な部員を見捨てず助言や手助けをしてくださった地学部顧問の岡本義雄先生。今回の発表の引率でお世話になった同じ顧問の井上広文先生にもお礼申し上げます。
別件で地学教室に來たがために観測に巻き込まれ、快く手伝ってくださった本校卒業生山本拓哉先輩(写真)。さらに小言を言いながらも、温かく(?)見守ってくださった保護者の皆さま。など多くの方々にお世話になりました。この場を借りてお礼申し上げます。なお本研究は文部科学省SSH事業の補助を得て行っています。

