2009 年度 芝浦工業大学 システム工学部

電子情報システム学科

総合研究論文

雷活動からの放射線観測における環境モニタの制作

Development of aerotonometer and thermometer

P07321 かんの ゆうた 菅野 雄太

指導教員:久保田あや准教授 理化学研究所研究員:土屋晴文先生

目 次

| 第1章 | はじめに | 1 |
|-----|---|----|
| 第2章 | 雷と雷実験の概要 | 3 |
| 2.1 | 雷の発生.................................... | 3 |
| 2.2 | 理化学研究所の雷雲からの高エネルギー放射線観測実験の紹介 | 4 |
| | 2.2.1 目的 | 4 |
| | 2.2.2 実験方法 | 4 |
| | 2.2.3 実験結果 | 5 |
| 第3章 | 環境モニターの作成 | 7 |
| 3.1 | 環境モニター作成の目的 | 7 |
| 3.2 | 環境モニターの全体像 | 8 |
| 3.3 | 電源回路作成 | 8 |
| | 3.3.1 電源回路の必要性 | 8 |
| | 3.3.2 トランスとダイオードブリッジ回路 | 9 |
| | 3.3.3 三端子レギュレータ回路 | 9 |
| 3.4 | | 10 |
| - | 3.4.1 気圧計センサ XFPM の概要と全体の回路 | 10 |
| | 3.4.2 気温計センサ LM35CAZ の概要と全体の回路 | 12 |
| 第4章 | 理化学研究所と柏崎での放射線観測実験 | 13 |
| 4.1 | 理化学研究所での環境モニターの動作確認試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 13 |
| | 4.1.1 動作確認試験の目的と方法 | 13 |
| | 4.1.2 動作確認試験の結果と考察 | 14 |
| 4.2 | 柏崎での放射線観測実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 15 |
| | 4.2.1 実験方法 | 15 |
| | 4.2.2 実験結果 | 16 |
| | | 10 |
| 第5章 | データ解析のためのプログラミング | 17 |
| 5.1 | NaI 及び PL, 気圧, 気温の絶対値の時間変動 | 17 |
| | 5.1.1 プログラムの必要性 | 17 |
| | 5.1.2 気圧値の算出法 | 18 |
| | 5.1.3 気温値の算出法 | 18 |
| | 5.1.4 1日の時間変動のグラフ | 18 |
| 5.2 | PL のずれと気圧の関係 | 23 |
| | 5.2.1 プログラムの必要性 | 23 |
| | 5.2.2 PL のずれの算出法 | 23 |
| | 5.2.3 PL のずれと気圧値のグラフ | 23 |

| 5.3 | PL Ø | カウント補正 \ldots \ldots \ldots 2 | 28 |
|-----|-------|---------------------------------------|----|
| | 5.3.1 | 気圧補正係数の算出2 | 28 |
| | 5.3.2 | 補正後の PL のカウント 2 | 28 |

第6章 まとめと課題

33

| 付録A | | 35 |
|-----|---|-----------|
| A.1 | 16 進数データを 10 進数の正しい値に直し,10 分ごとの NaI 及び PL の合計値と 10 | |
| | 分ごとの気圧及び気温の平均値を出力するプログラム (10 月 31 日の場合) | 35 |
| A.2 | NaI や気圧などの時間変動のグラフを表示するプログラム (NaI1 の場合) | 37 |
| A.3 | PL の 10 分ごとの合計値と, $\operatorname{10}$ 分ごとの合計値の平均とのずれ ($\%$ 表示) と, 気圧値 | |
| | を表示するプログラム (10月 31日~11月 4日の場合) | 38 |
| A.4 | PLの10分ごとの合計値と PL の10分ごとの合計値の平均とのずれ($%$ 表示)と、気 | |
| | 圧値の関係のグラフを表示するプログラム (10 月 31 日 ~ 11 月 4 日の場合) | 40 |
| | | 4.4 |

A.5 補正した PL のカウントを出力するプログラム (10 月 31 日~11 月 4 日の場合) ... 41

第1章 はじめに

雷とは空と地,または雷雲と雷雲の間に起き,閃光と轟音を伴う大規模な放電現象である. これ は,何らかの原因で発生した強い上昇気流によって積雲から発達して山のように立ち上り,雲頂が 時には成層圏下部にも達することがあるような積乱雲(雷現象のときは雷雲と呼ぶ)から発生する. そしてこの雷雲からは x 線や 線といった放射線が発生され,地上に降り注いでいる.本論文では これらの放射線が,地球の大気や気温によってどのような影響を与えられているのかを述べていこ うと思う.

第2章 雷と雷実験の概要

2.1 雷の発生

徒来、雷とは雷雲と地面との間で電界が強まり、大気の絶縁を破壊することで発生すると考えら れていた.ところが、そのような絶縁を破壊するような強さの電界はほとんど観測されていない.ま た、絶縁破壊電界に達しなくても雷が起こることがたびたび報告されていた.こうしたことをうま く説明するために雷は宇宙から地球に降り注ぐ高エネルギー粒子である宇宙線によって誘発され るという仮説が提唱されている. 宇宙線は、星が消えるときにおこる大爆発(超新星爆発)やブラッ クホールから吹き出る宇宙ジェットという現象などにより作られると考えられている. そうした宇 宙線は地球に到来し、地球大気中の窒素または酸素に衝突し、多数の高エネルギー粒子を生成する. この2次的な粒子が偶然に雷雲内の空気分子に衝突して別の高エネルギー電子を弾き出す.こうし た電子は、雷雲中の負電荷と正電荷の間の電界によって加速され他の空気分子と衝突しながら、次々 と電子を再生産するなだれを誘発する. そうして作られた電子も加速され. 雷雲の中を走り抜ける 間に制物放射を通じて 線を放射する これを逃走電子なだれモデルと呼び 生成された多数の電 子によって落雷が誘発されると考えられている、具体的には加速された電子が雷雲から抜けだし階 段状リーダと呼ばれるイオン化した放電路を作り出す.各階段ごとにリーダの先端に電子が蓄積さ れて局所的に強い電界が生まれ、より多くの逃走電子が加速される.加速された電子は空気分子と 衝突して大量の X 線を発生させる. 階段状リーダが地面に達するまで、こうした過程が繰り返され る.このリーダが地面に達すると、その経路を大電流が瞬間的に流れる.この大電流によって空気が 最大で3万 まで加熱され、可視光が放射される、こうしたことが身近な雷の発生プロセス[1]と考 えられている.したがって雷や雷雲からのX線を測ることで、これらの謎を解明できる.



図 2.1: 雷現象

2.2 理化学研究所の雷雲からの高エネルギー放射線観測実験の紹介

2.2.1 目的

雷や雷雲の中の電子が加速されると、制動放射により電子のエネルギーに応じて X 線や 線が 発生する.生じた X 線や 線は、親である電子よりもずっと大気中を通過しやすい.例えば 10MeV の 線と電子は、それぞれ大気を 300m 及び 40m 進むことができる.そのため、過去の観測で見つ かった放射線の正体はこうした X 線や 線であろうと考えるようになった.理研グループは、この ことを確かめるため、新たに装置を開発し、柏崎の刈羽原子力発電所にて観測 [2] を始めた.

2.2.2 実験方法

研究グループの装置は、独立で相補的な2台の検出器で構成されている. これは仮に1台が何ら かの理由で本物の放射線の増加を取り逃がしても、もう1台でそれをカバーできる利点があるた めである. 一つの検出器は放射線がやってくる方向を推定できて、40keVから3MeVまでを観測し、 放射線が 線か電子かを判別する. もう一方の検出器は、指向性はないものの40keVから80MeV の非常に広いエネルギー範囲を観測できる. いずれの検出器も、X線や 線の観測で一般的に使用 されて、NaIやCsI,BGOといった無機シンチレータと光電子増倍管を組み合わせたシンチレーショ ン検出器で構成されている. さらにこの研究では、放射線を観測するだけでなく、雷や雷雲の通過に より周囲の光や音、電界がどのように変化するのかも同時に知るため、半導体素子等で独自に製作 した光や音の観測装置や商用の電界測定器も組み込んだ.



図 2.2: 放射線観測実験の概略図

2.2.3 実験結果

2007年1月7日の早朝に、研究グループは、長い時間変化とは明らかに異なる突発的な放射線の 増加を観測した.図2-2¹で表されているように、X線や線検出器では6時43分から40秒ほど続 く顕著な増加があるのに対し、線/粒子分別器では明らかな増加がないことから、この放射線が電 子でなく線であることを表している。またこの実験で得た観測データは、横や下から来る線を シールドしているので、線が上方から来ていることがわかる。さらに光や電界観測装置のデータ から、雷が実際に光ったのは、線の検出から約70秒後で、その後4回雷が発生している。しかし、 いずれの雷でもそれらに同期して発生しているような放射線の増加は全く見られなかったので、観 測した線は、雷そのものでなく、雷雲と関連したものと研究グループは考えた。このようにこの実 験で研究グループは、雷雲からの線の情報をはじめて詳細に得ただけでなく、線と周囲の光や 電界との詳細な関係[2]も同時に得ることができた。



¹http://ceres.phys.s.u-tokyo.ac.jp/ enoto/researches/thunder/thunder.html

第3章 環境モニターの作成

3.1 環境モニター作成の目的

放射線観測の実験において計測に用いる検出器は、荷電粒子を観測するためのプラスチックシン チレーション検出器および 線検出のための NaI シンチレータ検出器である.しかしこうした装置 は、気圧や気温の影響を受ける.例えば気圧が減少すると、大気の壁が薄くなり、観測される放射線 の数は増える.実際にまさに雷雲が発達しているようなときには、気圧や気温が大きく変動する. そのため気圧や気温が観測にどんな影響を与えるか把握し、環境による影響を正しく評価して、装 置から得られるデータを補正する必要がある.そこで本総合研究では、雷雲からの放射線の絶対量 を正確に知ることを目的とする.気圧および気温を計測する環境モニターを製作し、放射線観測の 実験の結果をより正確なものにしていく.



図 3.1: NaI シンチレータ検出器



図 3.2: プラスチックシンチレーション検出器

3.2 環境モニターの全体像

環境モニターの全体像を図 3-3 に示す. これから述べる放射線の観測実験はこのような方法をとることとする.



図 3.3: 環境モニターの全体像

3.3 電源回路作成

3.3.1 電源回路の必要性

気圧計・気温計のセンサ,及び気温計の回路に取り付けるオペアンプには、これらを動作させる ために定められた電圧を入力しなければならない. そこで本実験では、商用 100V から必要な交流 電源を入力するようにする.



図 3.4: 実際の全体の電源回路

3.3.2 トランスとダイオードブリッジ回路

商用 100V の交流電圧をセンタータップ付きのトランス (変圧器)の一次側に入力する.するとト ランスの二次側から AC24V の交流電圧が出力される。そして二次側のセンタータップを GND に 落とし、トランスの出力をダイオードブリッジで整流する.ダイオードブリッジは今回のような大 きな電力を発生する回路で用いられ、入力される交流の正弦波の正と負のサイクルが両方とも出力 される.今回のようにセンタータップが付いたトランスを使うことで、1 個のダイオードブリッジ でプラスとマイナス両方の直流電流を出力できる.ダイオードブリッジからの正負の出力をコン デンサーで平滑化することで 12V 及び-12V の直流電圧を発生させることができる.全体の回路の 概略図を図 3-5 に示す.



図 3.5: トランスとダイオードブリッジの回路図

3.3.3 三端子レギュレータ回路

今回の実験では定電圧を容易に発生させることができる三端子レギュレータを用いた電源回路¹を 作成した.この電子部品は入力端子 (IN),出力端子 (OUT),グラウンド (GND) の3端子から構成 され,出力電圧固定型と出力電圧可変型があるが,今回の実験では出力電圧固定型を使う.この型 は,入力端子と出力端子に発振防止用のコンデンサを2個を接続することで脈流(流れる方向が一 定で,電流及び電圧の大きさに周期的,又は不定期な変動を伴った電流のこと)を安定化する回路が 構成できる.ダイオードブリッジ回路から出力された12V及び-12Vの電圧を入力し,センサに必 要な5V,±9Vの電圧を出力させる.オペアンプのセンサに必要な9V及び-9Vの入力電圧はそれ ぞれ7809及び7909のレギュレータを,気圧計及び気温計のセンサに必要な5Vの入力電圧は7805 のレギュレータを使用して発生させた.なお7809のレギュレータによって発生させた-5Vの電圧 はセンサ等の性能が変化した時に使用するために用意したが,今回の実験は平常に行われたので使 用しなかった.全体の回路の概略図を図3-6に示す.

¹http://spectrum123.at.infoseek.co.jp/buhin/regulator/regulator.htm



図 3.6: 三端子レギュレータ回路 (+の例)

3.4 気圧計と気温計の回路作成

3.4.1 気圧計センサ XFPM の概要と全体の回路

気圧計のセンサは測定圧力範囲 150hPa~1150hPa, 測定精度 ± 1hPa である. 5V の電圧をセン サに入力することで, センサが大気圧を測定し, 測定値に適合した電圧が出力される. センサを含め た気圧計全体の回路の概略図と実際の回路, 及び入力圧力と出力電圧の関係図 [3] を図 3-7, 図 3-8, 図 3-9 に示す.







図 3.8: 実際の気圧計回路



図 3.9: 入力圧力と出力電圧の関係図

3.4.2 気温計センサ LM35CAZ の概要と全体の回路

気温計のセンサは測定温度範囲-40 ~110 ,測定精度 ± 0.5 である. 5V の電圧をセンサに 入力することで,センサが温度を測定し,測定値に適合した電圧が出力される.センサを含めた気温 計全体の回路の概略図,実際の回路図 [4] を図 3-9,図 3-10 に示す.なおオペアンプは ADC(アナロ グ・デジタル変換器) が読み取りやすい信号にするために取り付ける.





図 3.11: 実際の気温計回路

第4章 理化学研究所と柏崎での放射線観測実験

4.1 理化学研究所での環境モニターの動作確認試験

4.1.1 動作確認試験の目的と方法

まず理研で NaI 検出器と PL 検出器を使い, 完成した環境モニターの性能を試した.環境モニ ターの全体像通りに AC コンセントから 100V の電圧を入力することで全ての装置を作動させた. そして時間と NaI 検出器及び PL 検出器, 気圧及び気温の変動を表せるようにした. 試験の結果,図 3-11 のようなグラフのデータが得られた.



図 4.1: 動作試験の結果

上から1番目と2番目がNaI検出器とPL検出器の値(ch),3番目と4番目が気圧と気温のADC に相当する.気圧は本試験の前日の台風の影響で夜半になっていくと下がっていき,朝になると戻 りつつある.気温は夜は割と一定であるが,朝になり日の光が差すと暖かくなり上昇しつつある.こ れらの結果と気象庁が測定した気圧及び気温の変動がほぼ一致していることから,環境モニターが 正常に動いていると認識した.

4.2 柏崎での放射線観測実験

4.2.1 実験方法

10月30日に新潟の柏崎で動作試験と同じ方法で実験を行った.ただし今回は性能試験で使用したプログラムは利用しないこととし、40keV以上の 線を検出する NaI 検出器は2台用意し,PL 検出器は,200keV以上,2MeV以上,4MeV以上の3つの荷電粒子のエネルギー領域をみることとする.



図 4.2: 実験図

4.2.2 実験結果

実験の結果 PC で図 4-2 のような結果が出力された。NaI1 と NaI2 と気圧と気温は 16 進数表示の ADC 値であり,PL1(200keV 以上),PL2(2MeV 以上),PL3(4MeV 以上) は 10 進数のカウントで ある.

| 測定時間 | NaI1 | NaI2 | 気圧 | 気温 | PL1 | PL2 | PL3 |
|--------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 091031000000 | 241 | 2D9 | 341 | 356 | 1 | 0 | 0 |
| 091031000001 | 265 | 2E2 | 342 | 357 | 4 | 2 | 0 |
| 091031000002 | 275 | 2F4 | 342 | 356 | 1 | 1 | 0 |
| 091031000003 | 25D | 2BF | 342 | 356 | 2 | 1 | 0 |
| 091031000004 | 24E | 2CC | 342 | 356 | 5 | 3 | 2 |
| 091031235959 | 275 | 2A1 | 337 | 3F1 | 4 | 2 | 0 |

図 4.3: 実験データ

第5章 データ解析のためのプログラミング

5.1 NaI 及び PL, 気圧, 気温の絶対値の時間変動

5.1.1 プログラムの必要性

柏崎で得られたデータ (NaI, 気圧, 気温) は,16 進数で出力された ADC 値であるので, 例えば気 圧なら ADC 値から hPa で表される値に直さなければならない. また放射線のデータは 1 秒ごと に出力されており, これをグラフに直しても変化がわかりにくいので,10 分ごとにその間の合計値 を出力することにする. そしてその値の時間変動をグラフにする. これらの目的を達成するための プログラムを作成する. プログラムの動作のフローチャートを図 5-1 に示す. (NaI と PL は 2 は飛 ばす) なおプログラムのソースリストは付録 A に記載する.



図 5.1: プログラムのフローチャート

5.1.2 気圧値の算出法

出力電圧と気圧値の ADC 値 (10 進数) は比例の関係にあることが仕様書からわかった. 気圧の ADC 値が 2046ch のとき,出力電圧は 10V なので,比例係数は 204.6 である. よって 16 進数で出力 された ADC 値を 10 進数に直し,それを比例係数で割れば出力電圧が求まる. さらに以下に表す伝 達関数の公式により,気圧値を求めることができる.

気圧の ADC 値 (ch) = 比例係数 × 出力電圧 (V)

出力電圧 $Vout(V) = \lambda$ 力電圧 $Vs(5V) \times ($ 気圧値 $P(hPa) \div 10 \times 0.009 - 0.095)$

[例]33F(データ) 831ch(ADC 値) 4.06V(出力電圧) 1007.77hPa(気圧値)

5.1.3 気温値の算出法

気温も気圧と同様に 16 進数で出力された ADC 値を 10 進数に直し, それを比例係数で割る. さらにこれはオペアンプによって, 倍加された数値であるので, ゲイン値の 16 倍で割り, 実際の出力 電圧がでる. そして以下に表す伝達関数の公式により, 気温値を求めることができる.

気温値T() = 出力電圧 $Vout(V) \times 100$

[例]348(信号) 840ch(ADC値) 4.11V(16倍の出力電圧) 0.257V(正しい出力電圧) 25.7 (気温値)

5.1.4 1日の時間変動のグラフ

例として 10月 31日~11月 4日と 11月 10日~11月 17日の NaI1, NaI2, 気圧, 気温, PL1, PL2, PL3 の時間変動を表したグラフを図 5-2, 図 5-3, 図 5-4, 図 5-5 に表す. なおグラフ表示に用いたルート のプログラムは付録 A に記載する.



図 5.2: 10月 31日~11月 4日の NaI, 気圧, 気温の観測データ



図 5.3: 10月 31日~11月 4日の PL の観測データ



図 5.4: 11月10日~11月17日のNaI, 気圧, 気温の観測データ



図 5.5: 11月10日~11月17日のPLの観測データ

5.2 PLのずれと気圧の関係

5.2.1 プログラムの必要性

NaIの見ているエネルギーは 40keV と低いので気圧の効果よりも気温の効果が大きくなる.また 線やX線などの光子に感じやすいNaIでは、大気中に溢れているラドンからの線(環境放射線) の変動に敏感にする.ラドンからの線はおもに 2MeV 以下のエネルギーを持っている.実は天候 が悪いときには、これらのラドンの影響が気圧変化を大きく上回る.したがって線に感じやすい NaIの 2MeV 以下のデータは、気圧の変化よりもラドンの影響を考慮しなくてはならない.しかし、 この作業は卒論では難しいので、ラドンの影響がほとんどなく、気圧の変化をおもに受ける 2MeV 以上のデータを持っている PL を使用する.実験で得られたデータを処理し、PL に対する気圧の影響を表す気圧補正係数を求めるためには以下に示すように、PL のずれと気圧の関係を表す必要が ある.これらの目的を達成するためのプログラムを作成する.プログラムの動作のフローチャート を図 5-6 に示す.なおプログラムのソースリストは付録 A に記載する.



図 5.6: プログラムのフローチャート

5.2.2 PLのずれの算出法

以下の公式で,PLのずれをパーセント表示で求める.

PLのずれNz(t) = (10分ごとのカウント値の平均Pa(t) - 1日のカウントの平均Pb(t))÷1日のカウントの平均Pc(t)

5.2.3 PLのずれと気圧値のグラフ

例として 10月 31日~11月4日と11月10日~11月17日の PL のずれの時間変動及び PL の ずれと気圧の関係を表したグラフを図 5-7,図 5-8,図 5-9,図 5-10に表す.なおグラフ表示に用いた ルートのプログラムは付録 A に記載する.



図 5.7: 10月 31日~11月 4日の PL のずれの時間変動のグラフ



図 5.8: 10月31日~11月4日のPLのずれと気圧の関係のグラフ



図 5.9: 11月10日~11月17日のPLのずれの時間変動のグラフ



図 5.10: 11月 10日~11月 17日の PL のずれと気圧の関係のグラフ

5.3 PLのカウント補正

5.3.1 気圧補正係数の算出

ー般的に、気圧は高度 x(km) を用いて P(x) = P0*exp(-x/x0) と表せる. x0 = 8.3 km ほど で、P0 = 1013 hPa である. 今 x が x0 より非常に小さい場合 (つまり地上付近) を考えてみる. その 場合、exp(-x/x0) = 1 - x/x0 と表せるので、 P(x) = P0(1 - x/x0) となる. 気圧 P のもとで観測され るカウント N は、大気の中を通り抜けてくるので、近似的に N = N0*exp(- P) となる. ここで、少 し先人の経験も入り、 は通常小さいので (1e-3 かそれ以下) なので、N = N0*[1- P] = B + AP と なる. ゆえに、 気圧とカウントの関係は、 比例関係になると予想できる. PL のずれと気圧の関係の グラフをこの一次関数; AP+B でフィット (A が気圧補正係数) し、それぞれの PL の気圧補正係数 を求める. 以下の表に求めた気圧補正係数を表す.

| | 10月31日~11月4日のデータ | 11月10日~11月17日のデータ |
|-----|------------------|-------------------|
| PL1 | -0.000991723 | -0.000944733 |
| PL2 | -0.000918384 | -0.000964077 |
| PL3 | -0.00156582 | -0.00124408 |

図 5.11: 気圧補正係数の表

5.3.2 補正後の PL のカウント

以下の公式でカウントの補正をした PL のカウントの変化及び時間変動のグラフを図 5-12, 図 5-13, 図 5-14 に表す.

補正後のカウントNc =補正前のカウント $Nt \times exp(-$ 気圧補正係数 $a \times (10$ 分ごとの気圧の平均値P(t) -測定時間

| 測定時間 | PL1 | PL2 | PL3 | 測定時間 | PL1 | PL2 | PL3 | |
|--------------|-----------|----------|-------|--------------|-----------|-----|------|-------|
| 091031001000 | 1370 | 507 | 54 | 091110001000 | 1470 | 540 | 63 | |
| 091031002000 | 1388 | 513 | 44 | 091110002000 | 1325 | 459 | 42 | |
| 091031003000 | 1390 | 480 | 60 | 091110003000 | 1415 | 496 | 59 | |
| 091031004000 | 1376 | 518 | 50 | 091110004000 | 1364 | 482 | 57 | |
| 091031005000 | 1302 | 464 | 51 | 091110005000 | 1299 | 459 | 50 | |
| 091104233000 | : 1455 | : 536 | 69 | 091117233000 | : 1521 | 536 | 67 | |
| 091104234000 | 1413 | 522 | 48 | 091117234000 | 1464 | 562 | 66 | |
| 091104235000 | 1420 | 522 | 65 | 091117235000 | 1515 | 576 | 63 | |
| | │補正 | | | | │補正 | | | |
| 測定時間 | PL1 | PL2 | PL3 | 測定時間 | PL1 | PL | .2 | PL3 |
| 091031001000 | 1376.41 | 509.19 | 54.39 | 091110001000 | 1469.60 | 539 | 9.85 | 62.98 |
| 091031002000 | 1394.80 | 515.33 | 44.34 | 091110002000 | 1324.94 | 458 | 8.98 | 41.00 |
| 091031003000 | 1397.00 | 482.24 | 60.48 | 091110003000 | 1414.99 | 495 | 5.99 | 58.99 |
| 091031004000 | 1383.19 | 520.50 | 50.41 | 091110004000 | 1364.07 | 482 | 2.03 | 57.01 |
| 091031005000 | 1308.99 | 466.30 | 51.43 | 091110005000 | 1299.07 | 459 | 0.02 | 50.01 |
| | : | : | | | : | | | |
| 091104233000 | 1460.70 | 537.94 | 69.43 | 091117233000 | 1525.63 | 537 | .66 | 67.27 |
| 091104234000 | 1418.62 | 523.92 | 48.30 | 091117234000 | 1468.77 | 563 | 8.87 | 66.28 |
| 091104235000 | 1425.84 | 523.99 | 65.42 | 091117235000 | 1520.15 | 578 | 8.00 | 63.28 |
| | | | | | | | | |

図 5.12: 10月 31日~11月 4日と 11月 10日~11月 17日の PLの補正変化



図 5.13: 10月31日~11月4日のPLの補正データ



図 5.14: 11月 10日~11月 17日の PLの補正データ

気圧のデータを使い,放射線の絶対量を補正するという当初の目的は達成できた.しかし使用した観測データが全部で13日分と極めて少なかったので,放射線のカウントの変化は微小なものであった.なので補正前後の測定データのファイルを見比べて変化がわかっても,グラフから変化を読み取ることはとても困難であった.放射線観測実験に気圧が影響を与えるのは何ヶ月以上にも渡ってのことなのだろうと考察することが本研究を進行する上で理解できた.

付録A

A.1 16進数データを10進数の正しい値に直し,10分ごとのNaI及びPL の合計値と10分ごとの気圧及び気温の平均値を出力するプログラム(10月31日の場合)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void)
ſ
 int hid, uke, k=0, PL_1, PL_2, PL_3, sum_5=0, sum_6=0, sum_7=0;
 double a,b,c,d,e,f,g,h,p,t,sum_3=0,sum_4=0;
 char hiduke[12],NAI_1[4],NAI_2[4],kiatu[4],kionn[4],*endptr;
 long count_1,count_2,count_3,count_4,sum_1=0,sum_2=0;
 FILE *fpin=fopen("20091031_2nais_P_T_3PLs.dat", "r"), *fpout;
 if(fpin==NULL ) {
  printf("Can not open a file\n");
  return -1;
 }
printf("File is opened\n");
 if((fpout=fopen("1031gokei.dat","w"))==NULL) {
   fclose(fpin);
  printf("File is not maked\n");
  return -1;
}
while(
       (fscanf(fpin,"%s %s %s %s %s %d %d
%d",hiduke,NAI_1,NAI_2,kiatu,kionn,&PL_1,&PL_2,&PL_3)!=EOF))
ſ
 if(k<600) {
   count_1=(int)strtoul(NAI_1,&endptr,16);
```

```
count_2=(int)strtoul(NAI_2,&endptr,16);
  count_3=(int)strtoul(kiatu,&endptr,16);
  count_4=(int)strtoul(kionn,&endptr,16);
  sscanf(hiduke,"%06d%06d",&hid,&uke);
  a=count_3/204.6;
  b=count_4/204.6;
  c=b/16;
 p=(a+0.475)*222.22;
  t=c*100;
  sum_1+=count_1;
  sum_2+=count_2;
  sum_3+=p;
  sum_4 + = t;
  sum_5+=PL_1;
  sum_6+=PL_2;
  sum_7+=PL_3;
 k++;
}
else {
  d=sum_3/600;
  e=sum_4/600;
sscanf(hiduke,"%06d%06d",&hid,&uke);
printf("%06d %ld %ld %lf %lf %d %d
d\n",uke,sum_1,sum_2,d,e,sum_5,sum_6,sum_7);
fprintf(fpout,"%06d %ld %ld %lf %lf %d %d
d\n",uke,sum_1,sum_2,d,e,sum_5,sum_6,sum_7);
sum_1=sum_2=sum_3=sum_4=sum_5=sum_6=sum_7=0;
k=0;
count_1=(int)strtoul(NAI_1,&endptr,16);
count_2=(int)strtoul(NAI_2,&endptr,16);
count_3=(int)strtoul(kiatu,&endptr,16);
count_4=(int)strtoul(kionn,&endptr,16);
```

```
a=count_3/204.6;
  b=count_4/204.6;
  c=b/16;
  p=(a+0.475)*222.22;
  t=c*100;
   sum_1+=count_1;
   sum_2+=count_2;
   sum_3+=p;
   sum_4+=t;
   sum_5+=PL_1;
   sum_6 + = PL_2;
   sum_7+=PL_3;
  k++;
}
}
fclose(fpin);
fclose(fpout);
return 0;
```

}

A.2 NaI や気圧などの時間変動のグラフを表示するプログラム (NaI1 の 場合)

```
void data_plot_tsuchiya_NaI1(TString sdatafile) {
    ifstream data(sdatafile.Data());
    if ( data.bad() ) {
        cerr << "No such a data file : " << endl;
        return;
    }
    const int ndim = 86400;
    double hms[ndim], nai1[ndim], nai2[ndim], press[ndim], temp[ndim], pl1[ndim],
    pl2[ndim], pl3[ndim];
    for ( int i = 0; i < ndim; i++ ) {
        hms[i] = nai1[i] = nai2[i] = press[i] = temp[i] = pl1[i] = pl2[i] = pl3[i] =-1;
    }
</pre>
```

```
// read data from a data file //
int n = 0;
while ( 1 ) {
       data >> hms[n] >> nai1[n] >> nai2[n] >> press[n] >> temp[n] >> pl1[n] >> pl2[n] >> pl3[n] >> p
       if ( data.eof() ) break;
       n++;
}
data.close();
 cout << "# of data : " << n << endl;
// ROOT routines //
Double_t xmin, xmax;
xmin = 0; xmax = 86400;
TH1F *hpres = new TH1F("hpres", "NaI1", n, xmin, xmax);
for ( Int_t i = 0; i < n; i++ ) {</pre>
       hpres->SetBinContent(i+1, nai1[i]);
       cout << i << " " << nai1[i] << endl;</pre>
}
gROOT->SetStyle("Plain");
TCanvas *cdata = new TCanvas("cdata", "", 50, 50, 600, 300);
hpres->SetXTitle("Time");
hpres->SetYTitle("NaI1 (ch)");
hpres->GetXaxis()->SetTimeDisplay(1);
hpres->GetXaxis()->SetTimeFormat("%H:%M");
TDatime sdate(20091031, 0);
hpres->GetXaxis()->SetTimeOffset(sdate.Convert(), "gmt");
hpres->Draw("hist");
```

A.3 PLの10分ごとの合計値と,10分ごとの合計値の平均とのずれ(%表示)と,気圧値を表示するプログラム(10月31日~11月4日の場合)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void)
{
```

}

```
char uke[6][715];
  int NaI1[715], NaI2[715], PL1[715], PL2[715], PL3[715], i;
  double a,b,c,d,e,f[715],g[143],h[715],kiatu[715],kionn[715],sum1=0,sum2=0,sum3=0;
  FILE *fpin=fopen("sougou1gokei.dat","r"),*fpout;
  if(fpin==NULL ) {
   printf("Can not open a file\n");
   return -1;
  }
  printf("File is opened\n");
  if((fpout=fopen("sougou1zure.dat","w"))==NULL) {
    fclose(fpin);
   printf("File is not maked\n");
   return -1;
  }
  while (
      (fscanf(fpin, "%s %d %d %lf %lf %d %d %d", uke[i], &NaI1[i], &NaI2[i], &kiatu[i], &kionn[i]
    {
    sum1+=PL1[i];
    sum2+=PL2[i];
    sum3+=PL3[i];
    i++;
    }
    a=sum1/715;
    b=sum2/715;
    c=sum3/715;
  for(i=0;i<143;i++) {</pre>
    f[i]=(PL1[i]-a)/a*100;
    g[i]=(PL2[i]-b)/b*100;
   h[i]=(PL3[i]-c)/c*100;
   printf("%s %lf %lf %lf %lf %lf %lf\n",uke[i],kiatu[i],f[i],g[i],h[i]);
    fprintf(fpout,"%s %lf %lf %lf %lf %lf %lf\n",uke[i],kiatu[i],f[i],g[i],h[i]);
}
    fclose(fpin);
    fclose(fpout);
```

```
return 0;
```

}

A.4 PLの10分ごとの合計値とPLの10分ごとの合計値の平均とのずれ(%表示)と,気圧値の関係のグラフを表示するプログラム(10月31日~11月4日の場合)

```
void data_plot_zure_kannsei(TString sdatafile) {
 ifstream data(sdatafile.Data());
 if ( data.bad() ) {
   cerr << "No such a data file : " << endl;</pre>
   return;
 }
 const int ndim = 143;
 double hms[ndim],
press[ndim],PL1zure[ndim],PL2zure[ndim],PL3zure[ndim];
 for ( int i = 0; i < ndim; i++ ) {</pre>
   hms[i] = press[i] = PL1zure[i] =PL2zure[i] = PL3zure[i] = -1;
 }
 // read data from a data file //
 int n = 0;
 while (1) {
   data >> hms[n] >> press[n] >>
PL1zure[n] >> PL2zure[n] >> PL3zure[n];
   cout << n << endl;</pre>
   if ( data.eof() ) break;
   n++;
 }
 data.close();
 cout << "# of data : " << n << endl;</pre>
 // ROOT routines //
 Double_t xmin, xmax;
 xmin = 0; xmax = 86400*5;
 TH1F *hpres = new TH1F("hpres", "PL1zure", n, xmin, xmax);
 for ( Int_t i = 0; i < n; i++ ) {</pre>
   hpres->SetBinContent(i+1, PL1zure[i]);
   cout << i << " " << PL1zure[i] << endl;</pre>
 }
 gROOT->SetStyle("Plain");
 TCanvas *cdata = new TCanvas("cdata", "", 50, 50, 600, 300);
```

```
// hpres->Draw("hist");
hpres->SetXTitle("press");
 hpres->SetYTitle("PL1zure (%)");
 // 時間で表示するとき //
hpres->GetXaxis()->SetTimeDisplay(1);
 hpres->GetXaxis()->SetTimeFormat("%H:%M");
 TDatime sdate(20091031, 0);
//#if defined(R__MACOSX)
 // hpres->GetXaxis()->SetTimeOffset((sdate.Convert()+3600), "gmt");
//#else
hpres->GetXaxis()->SetTimeOffset(sdate.Convert(), "gmt");
 // cout << "Here " << endl;</pre>
 //#endif
hpres->Draw("hist");
11
// TGraph
 11
TCanvas *c2 = new TCanvas("c2", "", 300, 50, 1000, 500);
 TGraph *gp_vs_zure = new TGraph(n, press, PL1zure);
 gp_vs_zure->Draw("ap");
gp_vs_zure->SetMarkerSize(1.0);
gp_vs_zure->SetMarkerStyle(24);
}
```

A.5 補正した PL のカウントを出力するプログラム (10 月 31 日~11 月 4日の場合)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
int main(void)
{
    char uke[6][715];
    int i;
    double a[715],b[715],c[715],NaI1[715],NaI2[715],kiatu[715],kionn[715],PL1[715],PL2[715],PI
FILE *fpin=fopen("sougou1.dat", "r"),*fpout;
```

```
if(fpin==NULL ) {
    printf("Can not open a file\n");
    return -1;
  }
  printf("File is opened\n");
  if((fpout=fopen("sougou1hosei.dat","w"))==NULL) {
    fclose(fpin);
    printf("File is not maked\n");
    return -1;
  }
  while (
 (fscanf(fpin,"%s %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf ",uke[i],&NaI1[i],&NaI2[i],&kiatu[i],&kionn[i]
   {
     sum+=kiatu[i];
     i++;
   }
  k=sum/715;
  for(i=0;i<715;i++) {</pre>
    a[i]=PL1[i]*exp(0.000991723*(kiatu[i]-k));
    b[i]=PL2[i]*exp(0.000918384*(kiatu[i]-k));
    c[i]=PL3[i]*exp(0.00156582*(kiatu[i]-k));
   printf("%s %lf %lf %lf\n",uke[i],a[i],b[i],c[i]);
    fprintf(fpout,"%s %lf %lf %lf\n",uke[i],a[i],b[i],c[i]);
    }
    fclose(fpin);
    fclose(fpout);
    return 0;
}
```

謝辞

本研究を進める上で、研究とはどのようなものかという初歩から教えてくださった指導教員の久 保田先生及び研究指導をしてくださった理化学研究所の牧島宇宙放射線研究室の土屋先生と加藤 先生を始めとする皆さん、大変お世話になり心から深くありがとうございましたという言葉をお送 りいたします.皆さんのご協力がなければ、ここまで研究を進めることはできなかったと非常に感 謝しております.そして様々な意見を取り交わした同期の金くん、小林くん、五月女くん、鈴木くん、 田村さん、皆さんと最後の学生時代の1年間を過ごせたことを誇りに思います.皆さん本当にあり がとうございました.

関連図書

- [1] J.R. ドワイヤー「稲妻から出る X 線を追え」日経サイエンス 2005 年 8 月号
- [2] [Tsuchiya et al.(2007)]2007PhRvL..99p5002T Tsuchiya, H., et al. 2007, Physical Review Letters, 99, 165002
- [3] 株式会社フジクラ [XFPM データシート]
- [4] LM35



| 2.1 | 雷現象 |
|------|---------------------------------------|
| 2.2 | 放射線観測実験の概略図 |
| 2.3 | 線の時間変動と光及び電場の時間変化5 |
| 3.1 | NaI シンチレータ検出器 |
| 3.2 | プラスチックシンチレーション検出器7 |
| 3.3 | 環境モニターの全体像 |
| 3.4 | 実際の全体の電源回路 |
| 3.5 | トランスとダイオードブリッジの回路図9 |
| 3.6 | 三端子レギュレータ回路 (+の例) 10 |
| 3.7 | 気圧計の回路図 |
| 3.8 | 実際の気圧計回路 |
| 3.9 | 入力圧力と出力電圧の関係図11 |
| 3.10 | 気温計の回路図 |
| 3.11 | 実際の気温計回路 |
| 4.1 | 動作試験の結果 |
| 4.2 | 実験図 |
| 4.3 | 実験データ |
| 5.1 | プログラムのフローチャート |
| 5.2 | 10月31日~11月4日のNaI, 気圧, 気温の観測データ |
| 5.3 | 10月31日~11月4日のPLの観測データ |
| 5.4 | 11月10日~11月17日のNaI, 気圧, 気温の観測データ |
| 5.5 | 11月10日~11月17日のPLの観測データ22 |
| 5.6 | プログラムのフローチャート |
| 5.7 | 10月31日~11月4日のPLのずれの時間変動のグラフ |
| 5.8 | 10月31日~11月4日のPLのずれと気圧の関係のグラフ25 |
| 5.9 | 11月10日~11月17日のPLのずれの時間変動のグラフ26 |
| 5.10 | 11月10日~11月17日のPLのずれと気圧の関係のグラフ27 |
| 5.11 | 気圧補正係数の表 |
| 5.12 | 10月31日~11月4日と11月10日~11月17日のPLの補正変化 29 |
| 5.13 | 10月31日~11月4日のPLの補正データ |
| 5.14 | 11月10日~11月17日のPLの補正データ31 |