

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 18 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501061

研究課題名(和文)地域の自然環境理解に基づく大気・熱環境学習プログラムの開発

研究課題名(英文)Development of atmospheric and thermal environmental learning program based on regional environmental measurement

研究代表者

飯野 直子(IINO, NAOKO)

熊本大学・教育学部・准教授

研究者番号：80284909

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：身近な地域の大气中二酸化炭素濃度と環境放射線を測定対象として、学校現場での使用に適した簡易測定器を検討・選定した。簡易測定器を用いて定点連続測定や移動測定を行って得たデータを用いて解析や可視化を行うとともに、得られたデータや解析結果をデータベース化した。また、選定した簡易測定器を用いて身近な環境測定を行う活動を取り入れた学習プログラムを開発し、それらの紹介を教員研修会等で行った。越境大気汚染や都市の温暖化なども含めて、大気・熱環境に関する学習用の素材・教材を提供するためのウェブサイトを作成した。

研究成果の概要(英文)：In order to measure the regional atmospheric carbon dioxide concentration and the environmental radiation, the simple measuring instrument that is appropriate for use on the school was respectively examined. The fixed-point continuous measurement and the mobile measurement have been performed with the selected ones. The database that stored the measuring data and the analytical result has been constructed. The learning programs on the atmosphere and thermal environment based on regional environmental measurement were developed. These results of this study were introduced in the in-service training of teachers association. The website to provide the teaching materials and database for atmospheric and thermal environmental education was constructed.

研究分野：理科教育, 環境科学

キーワード：環境教育 大気環境 熱環境 環境放射線 大気中二酸化炭素濃度 測定 データベース 地域教材

### 1. 研究開始当初の背景

平成20年に告示された新学習指導要領では、これまで環境教育を中心的に担ってきた「総合的な学習の時間」の授業時数が減少し、各教科における環境教育の充実が図られている。環境教育の一層の推進の観点から、小学校理科では地域の特性を生かし、その保全を考えた学習などの充実が図られている。中学校理科では、内容(7)の「科学技術と人間」と「自然と人間」の中の選択履修の内容が必修修となるとともに、第1分野と第2分野に共通の最終項目「自然環境の保全と科学技術の利用」が新設され、それまでの学習を活かし総合的に扱うことになった。また、今回の学習指導要領の理科の改善では、実感を伴った理解、自然を探究する能力や態度の育成、科学的な知識や概念を活用したり実生活や実社会と関連付けたりしながら科学的な見方や考え方を育成すること、自然に対する総合的なものの見方を育てることが重視されている。これらのことより、身近な事象や地域素材を題材とした理科・環境学習や自然体験・科学体験などを活用しながら総合的な見方や考え方をもちて探究する教材が求められていると思われる。

理科の学習では児童・生徒自身が観察実験などを行うことが基本であるが、自然環境の理解のためには、長期にわたる観測や多種多様な情報が必要となる場合が多い。教科理科における環境学習では、子どもたちが実際に水や大気汚染などの調査を行うテーマでも、短期間の調査にとどまることが多い。また、テーマによってはインターネットなどを用いた調べ学習に終始する場合がある。他者による解析結果や解釈を調べてまとめるだけでなく、身近な地域における定点観測データや児童生徒自身による測定データ、外部機関が提供している身近な地域のデータなどを有効活用し、生に近いデータから地域の自然環境を理解し、そこからより広い空間や長い時間スケールで自然環境を捉えて考える学習活動を行うことは、環境教育だけでなく、理科学習における主体的な取り組みや、理科と日常生活を結びつけて考えたり、実感を伴った理解をしたりする上でも有用であると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、地域の大气・熱環境を対象として、子どもたちや教諭が実際に地域の自然環境の観測や調査を行ったり、それらの結果や外部機関のデータを用いたりしながら理科学習を活用して取り組むエネルギー環境学習プログラムを開発することを目的とした。また、各学校における自然環境の観測・調査やデータ処理・解析に必要な機材を貸し出し、大学と学校現場の教諭が連携しながら学校地域の自然環境・素材を活用した大气・熱環境に関する教材開発や授業実践を行うための基盤づくりもめざして研究を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 環境放射線

環境放射線の簡易測定器の特徴を把握することと教材用資料・素材データを得ることを目的として、熊本県内において地上に設置されている5箇所のモニタリングポスト近傍や航空機内、高速船内において環境放射線測定を行った。測定にはCsI(Tl)シンチレーション式の以下の4機種:(1)クリアパルス(株)γ線エネルギー補償型環境放射線モニター Mr. Gamma A2700(以下ではMG);(2)(株)堀場製作所 通信機能付放射線モニター Radi PA-1100(以下ではRadi);(3)日本レイシテムズ(株)X,γ放射線測定用パーソナル線量計 miniDOSE PRM-1100(以下ではmD);(4)エステー(株)家庭用放射線測定器 AIR COUNTER EX(以下ではACEX)と、ガイガー・ミュラー計数管が用いられたGM管式の(5) GmbH & Co.KG社製の簡易放射能検知器 GAMMA-SCOUT(以下ではGS)のあわせて5機種を使用した。

#### (2) 大気中二酸化炭素濃度

簡易二酸化炭素濃度測定器を用いて、測定場所・状況による二酸化炭素濃度の違いや大気中二酸化炭素濃度の時間変化を捉えることが可能かどうかを検討することを目的として、(株)ティアンドデイ社製のTR-76Uiを用いて大気中二酸化炭素濃度の徒歩による移動測定、定点測定、定点連続測定を行った。定点連続測定は、熊本市東区内の住宅地の建物5階屋外(HG)と熊本大学構内の百葉箱(KU)、西子飼町スクランブル交差点付近の建物5階屋外(NK)に簡易測定器を設置して行った。得られた10分毎の連続測定データから1時間平均値を算出し、解析用データセットとした。使用した簡易測定器のCO<sub>2</sub>センサは非分散型赤外線吸収法(NDIR)方式である。オートキャリブレーション機能を有効にして使用した場合の精度は、±50 ppm + 読み値の±5%となっている。

### 4. 研究成果

#### (1) 環境放射線

熊本県内5箇所のモニタリングポスト近傍、高さ1mにおける測定結果(平均値と標準偏差)と測定時刻のモニタリングポストの値を図1に示す。モニタリングポストでは空気吸収線量率[μGy/h]で測定されており、ウェブサイト上では、環境放射線モニタリング指針(原子力安全委員会)に基づき、1[μGy/h]=1[μSv/h]として換算した実効線量率が表示されている。このため、本研究で使用した、1センチメートル線量当量率を測定する簡易測定器を用いた測定値とは厳密には意味が異なるが、ここでは両者とも空間線量率[μSv/h]と表記し、モニタリングポストの値を基準とした。

GM管式のGSの平均値は、モニタリングポストの値やシンチレーション式の簡易測定

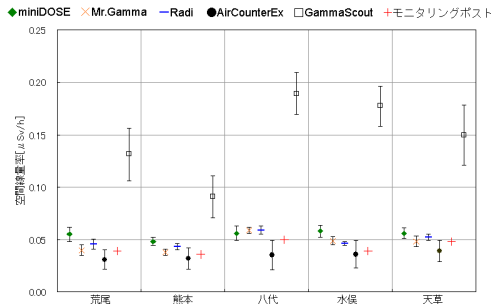


図1 モニタリングポスト近傍における空間線量率の測定結果

器の平均値に比べて2~5倍高かった。これは一般に安価なGM管式では低い線量を測るときに過大評価になることが指摘されていることと合致する。測定器のエネルギー範囲がたとえばMGは150 keV以上となっているのに対して、GSは30 keVであることも影響しているかもしれない。GSの標準偏差は大きいですが、変動係数は0.11~0.22であり、使用した5機種の中なかでは中程度であった。シンチレーション式の機種については、モニタリングポストの値と比べて、家庭用ACExの平均値は低い傾向を示した。それ以外の3機種の平均値は高めの傾向を示した。1センチメートル線量当量は実効線量に比べて高めの値になると言われていることと整合的である。変動係数はACExが0.27~0.39と大きく、それ以外の3機種については0.05~0.13と小さかった。図1に示すように、ACExはデータのばらつきが大きいので、10分の測定時間の間にモニタリングポストの値に近い値を示すこともあった。mDは5箇所すべてでモニタリングポストの値よりも高い値を示した。mDには線量率の表示機能があるが、本来個人線量計であり、1センチメートル個人線量当量を測定する目的で設計されている。そのため、5分間経過すると自動的に表示が積算線量に戻ることに注意が必要であった。MGとRadiは八代と水俣以外の3箇所では、モニタリングポストデータに近い値を示した。また、5箇所すべてにおいて両者は概ね近い値を示した。地上屋外における環境放射線測定では、 $\gamma$ 線エネルギー補償の有無はそれほど大きく影響しないと思われる。

プロペラ機(黒線)とジェット機(青線)の高度(実線のみ)の時間変化とそれぞれの機内におけるGSの空間線量率(のプロットあり)の時間変化を図2に示す。航空機の上昇・下降と空間線量率の上昇・下降がよく対応していることがわかる。相関係数はプロペラ機が0.76、ジェット機が0.96と高かった。なお、巡航高度はプロペラ機が5500m、ジェット機は11000mであった。ジェット機の巡航高度がプロペラ機の2倍であるのに対して、 $\mu$ Svによる空間線量率は5.6倍高かった。ジェット機内におけるシンチレーション式3機種の空間線量率[ $\mu$ Sv/h]とGM管式のGSカ

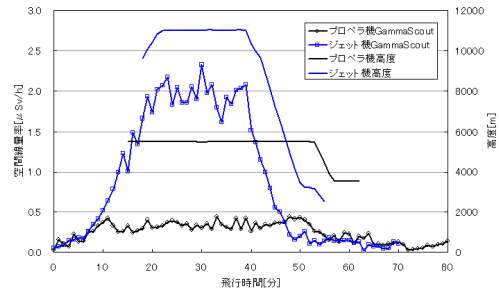


図2 飛行高度と航空機内におけるGSの空間線量率の時間変化

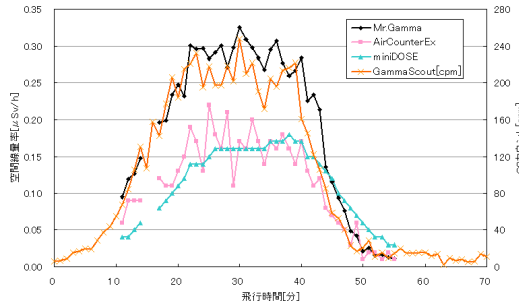


図3 ジェット機内における空間線量率とGSカウント値の時間変化

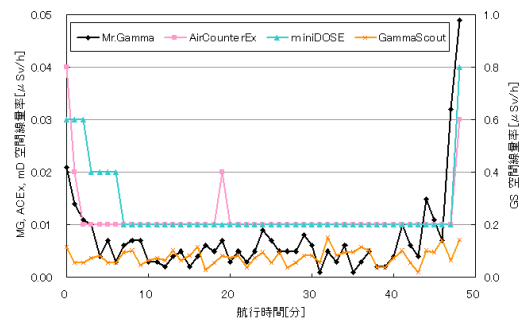


図4 高速船内における空間線量率の時間変化

ウント値[cpm]の時間変化を図3に示す。GS以外の3機種についても、航空機の高度変化と空間線量率の変化はよく対応していることがわかる。相関係数はACExとmDが0.93、MGは0.98であった。巡航高度11000mをクルーズ中の空間線量率の変動係数は、MG、mD、GSが0.06~0.08で地上屋外と同程度かやや小さめ、ACExは0.16で地上屋外における測定の半分程度であった。

高速船内におけるシンチレーション式3機種(左縦軸)とGM管式1機種(右縦軸)の空間線量率[ $\mu$ Sv/h]の時間変化を図4に示す。海上における値はほぼ宇宙線由来であり、低線量であることが知られている。図4の測定結果をみると、航行時間の大部分において、ACExとmDは測定範囲の下限値である0.01 $\mu$ Sv/hが続いている。一方、MGとGSの測定範囲の下限値は0.001 $\mu$ Sv/hであるので変動がみられる。港外を航行している間の平均値は、MGが0.0043 $\mu$ Sv/h、GSが0.0763 $\mu$ Sv/hで

あり、GS が約 18 倍高かった。なお、モニタリングポスト周辺における測定では GS が MG より 3 倍程度高かった。

今回使用した 5 機種の内いずれを用いても、いろいろな場所における環境放射線レベルを定性的に捉えることができることがわかった。環境放射線を定量的に捉えようとする場合は、MG や Radi の使用が適している。GS の空間線量率はかなり高めを示すため、モニタリングポストやシンチレーション式の簡易測定器による測定結果との比較には適さないと思われた。パルス測定値の使用が望ましいと考える。ACEx は変動係数が大きいので、地上屋外で環境放射線を測定する場合には、測定回数を多くする必要がある。上空における測定時には、地上屋外での測定時よりも変動係数が減少したことから、室内における放射線源を用いた実験での使用の方が適していると考えられる。mD は本来個人線量計である点に注意が必要であるが、モニタリングポストの値から大きくは外れていないことや変動係数が小さいので測定回数をあまり多くしなくてもよいことを考えると、児童生徒の実態によっては、地上屋外のさまざまな環境下で測定を行う場合に有用であると思われる。安価な ACEx や mD (MG や Radi の価格の 1/6 程度) を有効活用する方法を今後さらに検討していきたい。

## (2) 大気中二酸化炭素濃度

### 移動測定・定点測定

熊本大学構内および熊本市内の市街地において、徒歩による移動測定と定点測定を行った結果、簡易測定器を用いて測定場所や測定時の状況による二酸化炭素濃度の違いを捉えられることが確かめられた。

### 定点連続測定

熊本市内 3 箇所における、2012 年 10 月 15 日から 24 日までの大気中二酸化炭素濃度の 1 時間値の時間変化を図 5 に示す。地点 HG における濃度に低めの傾向がみられたが、時間変化のパターンは 3 箇所ともほぼ同様であった。晴れた日の二酸化炭素濃度は、午前 8 時頃に最大となり、光合成活動が盛んになる日中に減少し、夕方以降に上昇する日変化がみられた。2012 年 10 月 18 日に九州に接近した台風 21 号や 23 日未明に通過した寒冷前線による強風時には濃度が低くなっており、朝のピークがみられなかった。なお、強風時に濃度が低くなることは、札幌市、名古屋市、神奈川県における測定結果の報告と整合している。

地点 HG における大気中二酸化炭素濃度の月最小値と月平均値の 21 か月(2012 年 10 月～2014 年 6 月)の経月変化を図 6 に示す。参考として、気象庁による綾里、南鳥島、与那国島における観測結果(月平均値)もあわせて示している。気象庁による綾里などにおける観測結果と同様に、簡易測定器を用いて測定した熊本市内の二酸化炭素濃度について

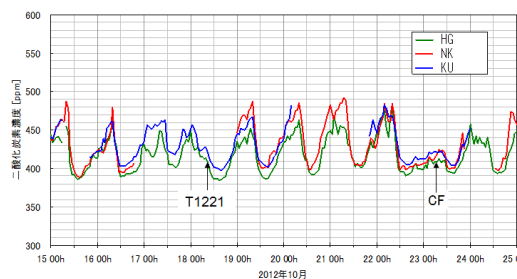


図 5 大気中二酸化炭素濃度の時間変化  
T1221: 台風 21 号九州接近  
CF: 寒冷前線通過

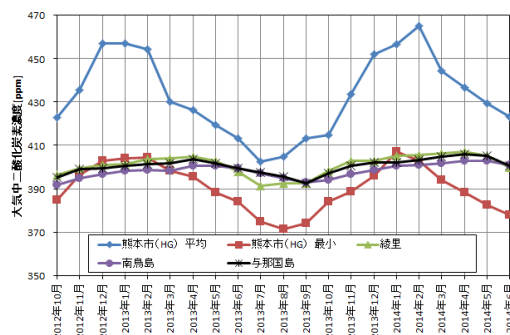


図 6 大気中二酸化炭素濃度の経月変化  
(綾里・南鳥島・与那国島は気象庁データを使用。2012 年 10 月～2013 年 12 月は確定値。2014 年 1 月～6 月は速報値。)

も季節変化がみられた。しかし季節変化の特徴は、図 6 に示されるように、以下のように異なっている。気象庁による綾里など清浄地域(バックグラウンド地域)における観測結果では、光合成の盛んな夏季に二酸化炭素濃度が低く、その後秋から春にかけて穏やかな上昇傾向がみられる。一方、熊本市内地点 HG の観測結果では、夏季に二酸化炭素濃度が低くなったあと、冬季にピークがみられ、その後減少している。冬季のピークには、光合成活動の低下だけでなく、化石燃料消費の増加といった人為的要因も関係していると考えられる。なお、冬季にピークがみられるという特徴は、名古屋市や神奈川県内における測定結果にみられる特徴と同様である。

## (3) 学習プログラム

環境放射線に関する学習プログラム開発において、小学校教員免許および中学校・高等学校理科教員免許取得予定の学部学生の放射線に関する知識や考え方の実態を調べるために、放射線に関するアンケート調査を行った。その結果、放射線の観察・測定を行った経験や放射線に関する基礎的知識や認識が十分ではないことがわかった。そのため、小中学生向けに開発した、簡易測定器を用いて屋内外で環境放射線を測定する学習プログラムに加えて、測定経験を踏まえて理科授業づくりを行わせる活動を取り入れた学習プログラムを開発し、大学生を対象に実践し



た。また、簡易測定器を用いた測定を現職教員向けの研修会にも取り入れて、学習プログラムの改良を行った。

学内のさまざまな場所における大気中二酸化炭素濃度と風向風速を測定する学習プログラムを開発し、大学生を対象として実践した。風の測定にはベーン式風速計と方位磁石、風杯型携帯風向風速計、手作り風向風速計の3タイプを用いた。大学生でも風の測定が難しいことがわかった。今後も小中学生が測定しやすい風向風速計への改良や、屋外でも簡単に測定方法を確認できる手順書の作成、指導方法の工夫を行う必要がある。

越境大気汚染や都市の温暖化なども含めて、本研究で得られたデータや画像、大気・熱環境に関する学習用の資料・教材を提供するためのホームページを作成した。図7に環境放射線に関する資料等を提供しているページを示す。



図7 環境放射線に関する素材等を提供するサイトのトップページ

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7件)

田中 均・島田秀昭・飯野直子・三宅安，地域と連携した理科授業実践 (第7報)，熊本大学教育実践研究第32号，pp.131-136，2015，査読無。

飯野直子・金柿主税，簡易測定器による環境放射線測定 九州における線線量率の走行サーベイ，熊本大学教育学部紀要第63号，pp.357-362，2014，査読無。

島田秀昭・飯野直子・田中 均・三宅安，地域と連携した理科授業実践 (第6報)，熊本大学教育実践研究第31号，pp. 131-136，2014，査読無。

飯野直子・小田真莉絵・山中美季・金柿主税，熊本の熱環境に関する教材開発，熊本大学教育学部紀要第62号 pp.299-309 2013，査読無。

飯野直子・金柿主税，簡易測定器による環境放射線測定，日本科学教育学会研究会研究報告 Vol.26 No.2, pp.59-64, 2013, 査読無。

飯野直子・島田秀昭・田中 均・三宅由洋・内田暁雄・西村幸太・渡瀬洋平・三宅 安・増永眞一郎・佐藤洋一，地域と連携した理科授業実践 (第5報)，熊本大学教育実践研究第30号，pp.85-91，2013，査読無。

飯野直子・後藤将太・中村恭浩・金柿主税，2010年春季と秋季の黄砂現象，熊本大学教育学部紀要自然科学第61号，pp.39-46, 2012，査読無。

〔学会発表〕(計 8件)

飯野直子・金柿主税，2014年の阿蘇中岳噴煙活動，第15回大気環境学会九州支部研究発表会，2015.1.23 九州大学応用力学研究所 (福岡県・春日市)。

飯野直子，熊本市の大気中二酸化炭素濃度，日本地学教育学会第68回全国大会北海道大会，2014.8.9，酪農学園大学 (北海道・江別市)。

金柿主税・飯野直子，顕著な桜島噴煙映像データベース，日本地学教育学会第68回全国大会北海道大会，2014.8.9，酪農学園大学 (北海道・江別市)。

飯野直子・金柿主税，簡易測定器による環境放射線測定，平成25年度第2回日本科学教育学会研究会，2013.11.23，ホルトホール大分 (大分県・大分市)。

金柿主税・飯野直子，GISでみる桜島噴火の活発化と防災，日本地学教育学会第67回全国大会大阪大会，2013.8.17，大阪教育大学天王寺キャンパス (大阪府・天王寺区)。

飯野直子・金柿主税，自動車を用いた環境放射線の測定，日本地学教育学会第67回全国大会大阪大会，2013.8.17，大阪教育大学天王寺キャンパス (大阪府・天王寺区)。

飯野直子・馬場美由紀・大石弘務，市販の測定器による大気中二酸化炭素濃度および自然放射線量の測定，第13回大気環境学会九州支部研究発表会，2013.1.25，アクロス福岡 (福岡県・福岡市)。

飯野直子・山中美季，衛星データを用いた熊本の熱環境学習教材，日本科学教育学会第36回年会，2012.8.28，東京理科大学 神楽坂校舎 (東京都・新宿区)。

〔その他〕

ホームページ等

学習素材・教材データベース

<http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/education/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯野 直子 (IINO NAOKO)

熊本大学・教育学部・准教授

研究者番号：80284909