

論文

可搬型GPS機能搭載環境放射線測定システムの 構築とその応用

芳原新也*, 伊藤真*

**Development of a Portable Natural Background-Radiation Measurement System
equipped with global positioning function and its Application**

Sin-ya HOHARA*, Shin ITO*

In order to study natural background-radiation dose rate in wide regional space such as $10 \times 10 \text{ km}^2$ ~ $100 \times 100 \text{ km}^2$, a simple and portable radiation dose-rate measurement system equipped with global positioning function has been developed. The hardware of the system, except for a detector, is composed of non-expensive electrical devices, and the software developed with Visual Studio 2005 and Visual C# is of multi thread structure and Graphical User Interface (GUI) architecture to achieve user-friendly display. Continuous time-series data recording for the dose rate and the position information is realized. Detailed structure of the system and the results of some application examples are given.

Keywords: natural background radiation, dose rate map, Global Positioning System (GPS), Car-borne measurement, walk around measurement, time-series measurement, Visual Studio 2005, Visual C#, multi thread technique, Google Map, V850

*近畿大学原子力研究所 Atomic Energy Research Institute, Kinki University

1. はじめに

近年、「原子力カルネサンス」のムーブメントに伴い、原子力・放射線に対する関心が高まってきている。特に専門研究者ではない者にとっては、原子力・放射線は一種禁忌に似た感覚で捉えられてきたという歴史背景から、正しい実像を知るという事には非常に大きな関心が寄せられている。しかしながら、これまでの経緯から、一般人と専門研究者との認識には大きな隔たりがあり、これが原子力・放射線の一般教育の場における障害の一つとなっている。

特に放射線は目に見えずその性質故に、放射線関連学は学習して理解するまでに相応の根気と期間が必要とされる。これは放射線教育の場においては一般受講生の興味の減退に繋がりがやすく、結果として情報を開示しているにも関わらず、逆の印象を与えてしまう可能性もある。端的に言えば、放射線関連学は放射線の特性ゆえに学習者の実感が湧きにくい。

つまり、一般人に対しての放射線教育を行なう際に必要な事は、いかに受講生の興味を持続させていくかであって、その教育手法としては基礎から応用へという専門家教育ステップではなく、見ただけで理解しやすく加工された応用結果を先に提示し、受講者のニーズに応じて基礎知識を開示していくという逆のアプローチが必要となる。このような手法に適した応用事例の一つとして、環境放射線量率の二次元分布図がある。

日本列島における地上ガンマ線量率分布は、放射線医学総合研究所が測定を行い1981年¹⁾に報告しており、この報告を基にして産業技術総合研究所中部センター及び放射線地学研究所が独自の測定データを加え2006年に日本列島の地上ガンマ線量率分布の等高線を報告している²⁾。これらのデータは地質学的・地理学的なデータ整備の一環となるだけでなく、エネルギー教育において最初の関心を引く為の

基礎データとして非常に有用であると考えられ、その測定点が受講生の身近な場所であればあるほど大きな効果を期待できる。

ところが、文献²⁾の日本列島のガンマ線量率等高線は点状測定からの補間計算によるものであり、この補間計算の元になった測定点密度は、平均値として約180 [Km²] に一点、中央値で見ても約120 [Km²] で一点である。一例として、約6100 [Km²] あまりの山口県の測定点は28点しかなく、これは単純に考えて一辺約15 [Km] 四方を一点の測定点で代表している事になる。具体的なサイズで言えば概ね東京首都高速中央環状線で囲まれる区域（新木場－小松川－小菅－扇大橋－西池袋－新宿－飯倉－芝浦－有明で囲まれる区域）をただ一点で代表している事に相当し、これにより局所的な放射線量率の偏りが見逃されている可能性は否定できない。

しかしながら、測定に費やされる労力や時間等を考えると、上記測定間隔は現状の点状測定による測定限界に近いとも考えられ、点状測定によるこれ以上の精度向上は非常に多くの労力を要すると思われる。つまり、現状以上の測定精度を求めるためには、測定手法を変える事で労力を極限まで最小化する事が必要となる。

そこで本研究では、GPS情報と放射線検出器をリンクさせるシステムを安価に実現、空間線量率測定に導入し、測定から分析に至るまでの各段階において出来る限り自動化をした本システムを測定現場に適用することを目的とする。

2. 放射線量率位置測定システムの概要

本システムは大きく分けて、計測システムと地図表示システムの2つのシステムから構成される。計測システムでは、放射線計測器の指示値とGPS位置情報をログファイルとして記録し、地図表示システムでは、ログファイル情報を地図上に表示する。

計測システムは、汎用のノートパソコン・携帯

放射線計測器・GPSおよびマイコンボードと周辺電子回路によって構成されており、25cm×35cm×45cmの収納容器に収納されている。収納容器の写真を図1、図2に示す。この為、計測システムは容易に持ち運び可能で、徒歩、自転車、自動車、列車等のあらゆる移動手段において利用可能である。



図1：計測システムの収納容器

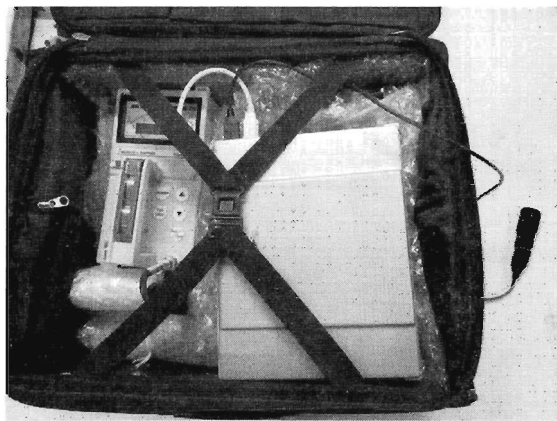


図2：計測システム収納の様子

地図表示システムは Google Maps API (Application Programming Interface) を利用して構築されており、測定・分析結果をweb上で一般公開することも可能となっている。以下に各システムの詳細を記す。

3. 計測システム —GPS位置情報・放射線量率情報の取得・記録—

3.1. ハードウェアの構成

前述したように、計測システムは汎用のノートパソコンを中心として構成している。GPS受信機にはI-O DATAのUSBGPS2、放射線計測器にはAlokaのTCS-161、放射線計測器の出力取り込みにはイーエスピー企画のCQ_V850基盤³⁾を用いた。計測システムの概要を図3に示す。

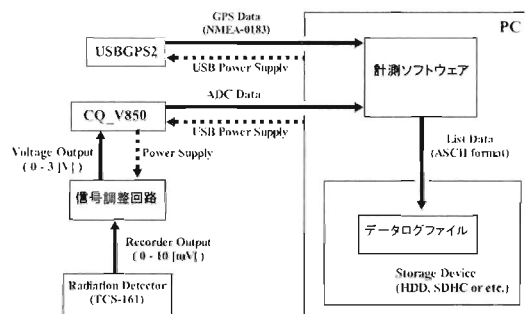


図3：計測システムの概要

CQ_V850は12chの10bit-ADCを持っており本システムではこれを用いて放射線計測器のレコーダー出力を読み取っている。しかし、CQ_V850のADC入力は3.3Vフルレンジであるのに対しTCS-161のレコーダー出力は10mVフルレンジであるため、その間に電圧増幅器を設置する必要がある。ここで、CQ_V850はUSB電源のみで駆動が可能であり、CQ_V850自体も3.3V電源出力を有しているため、電圧変換用増幅器には単電源高精度OPアンプであるAnalog Devices社のAD822を用いた非反転増幅回路を6系統構築した。ただし、CQ_V850の3.3V電源出力を使用するには、ボードのCON2-39ピンに繋がっているR4部分を短絡する必要がある。CQ_V850周辺の回路図概要を図4に、実装した様子を図5に示す。

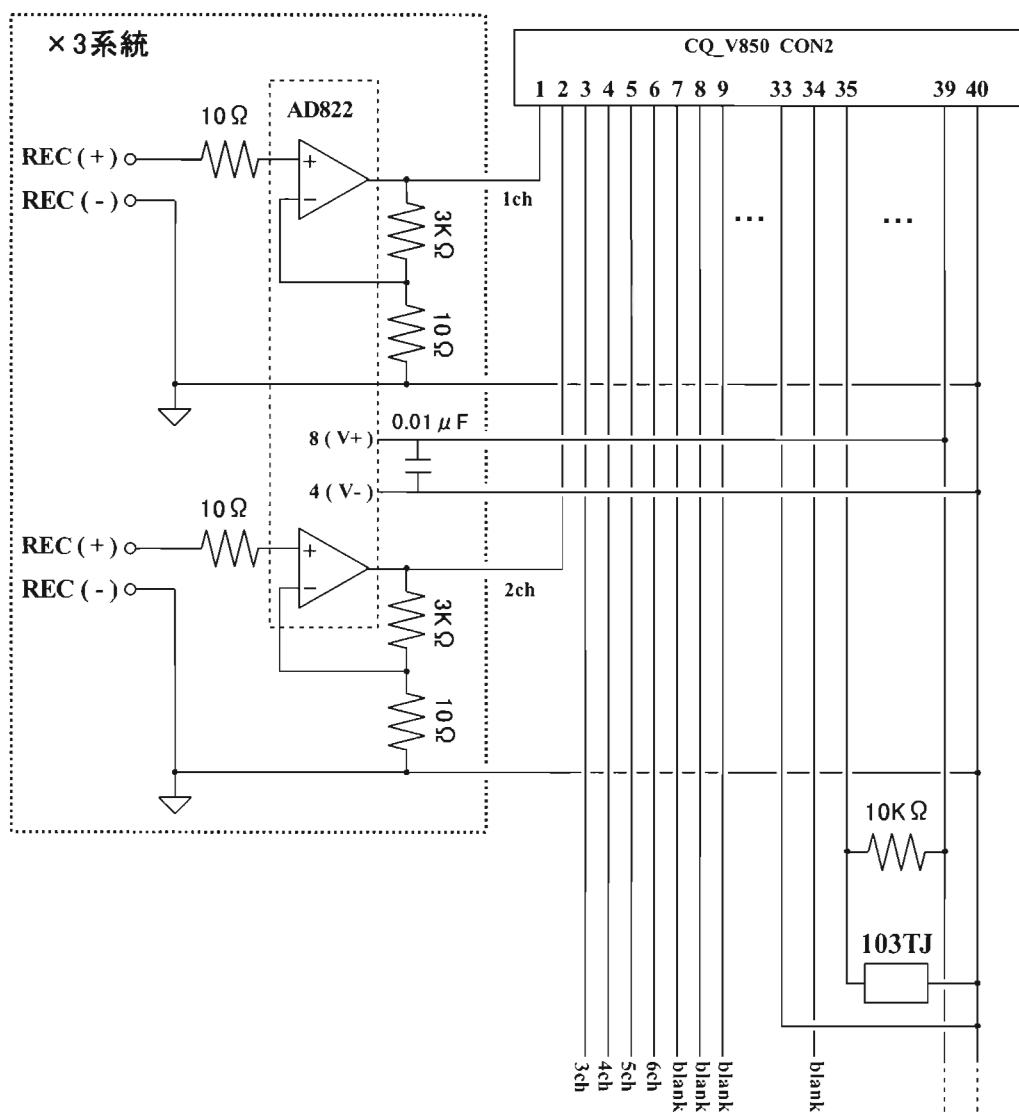


図4：CQ_V850周辺の回路図概要

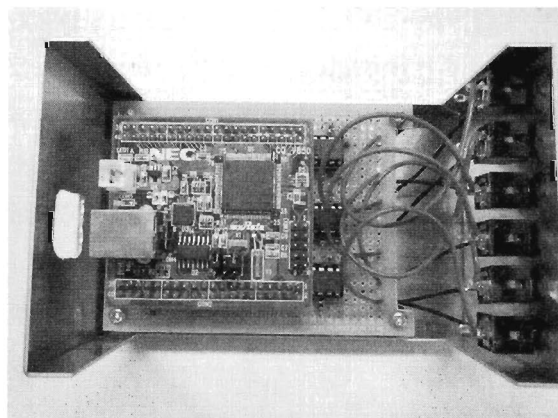


図5：CQ_V850周辺回路の実装の様子

CQ_V850は工場出荷時には、約1秒毎に12chあるADCの入力電圧を順番にAD変換し、PC側へシリアル送信するプログラムが搭載されている。しかし、そのままではTCS-161レコーダー出力のモニタ間隔が非常に長くなる為、約1秒毎に12ch全てのADC入力電圧値をAD変換し、PC側へシリアル送信するようなプログラムに搭載し直した。

以上のハードウェア構成により、TCS-161搭載の乾電池とノートパソコンのバッテリーのみで1秒毎のGPS位置情報と放射線量率を測定・記録する事

が可能となっている。連続稼働時間はTCS-161に比べてノートパソコンが短く、システムとしての稼働時間はノートパソコンのバッテリー容量に依存している。おおまかな目安として、標準バッテリー搭載のLet's note R5 (Panasonic) をシステムPCとして用いた場合、約4～5時間程度の連続測定が可能であった。

3.2. ソフトウェアの設計

計測システムにおいて、ソフトウェアに要求される性能は以下の3つである。

- (1) USBGPS2からのGPS情報を受信する。
- (2) CQ_V850からの送信データを受信する。

(3) (1)、(2)のデータを時系列的に記録する。

上記(1)～(3)の機能を実現するに当たり、ソフトウェア開発のための労力を最小化するため、Visual C#を用いて開発を行なった。基本的なソフトウェアの構造として、USBGPS2及びCQ_V850とは各々シリアル通信によりデータ受信を行い、それらのデータを一旦専用の構造体に収納した後、別スレッドにより時刻と一緒にファイルに書き出す設計にした。

計測ソフトウェアの構造概要を図6に、計測ソフトウェアのインターフェース例を図7に、ログファイルのフォーマットを表1に、USBGPS2とCQ_V850の具体的な通信設定を表2に示す。

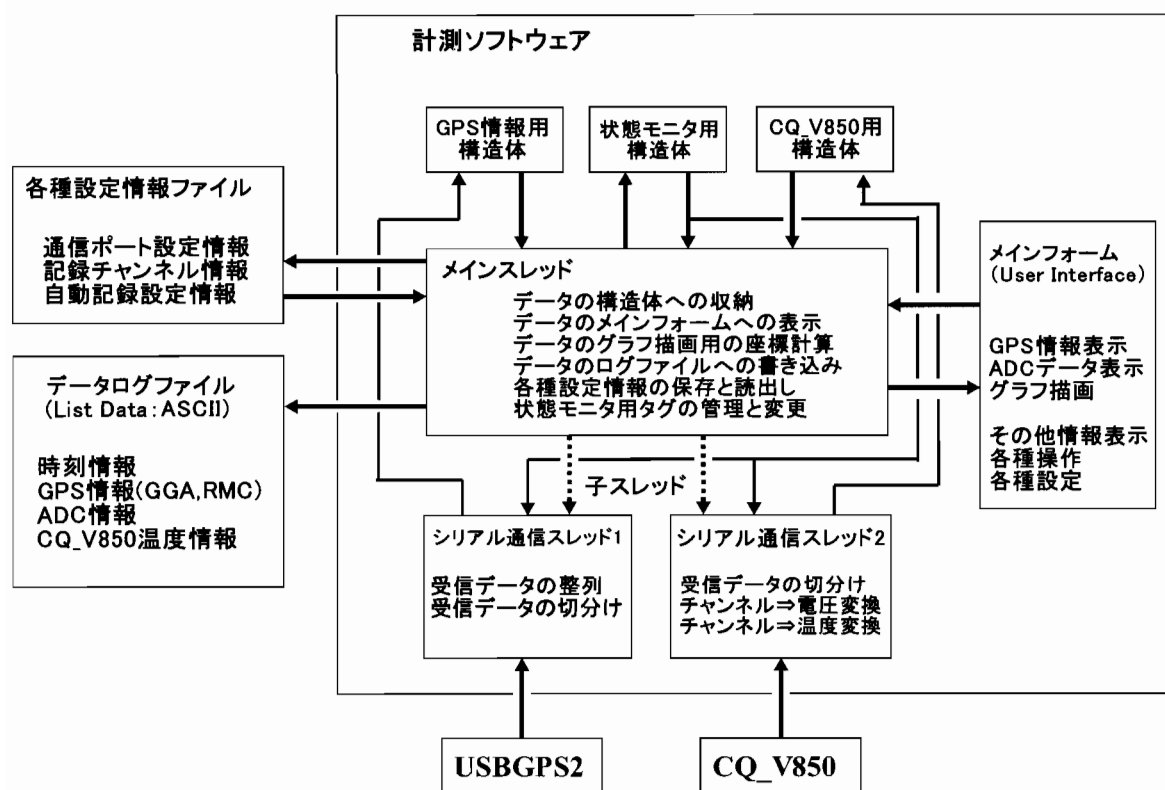


図6：計測ソフトウェアの構造概要

表 1：ログファイルのフォーマット

	記録情報	記録条件
1列目	測定日 (PCの設定日時)	常時
2列目	測定時刻 (PCの設定日時)	常時
2+n列目 (n = 1 ~ 12)	n番目のADC測定電圧 [V]	記録設定されている チャンネルの情報のみ記録
2+n+m列目 (m = 1 ~ 2)	周辺回路への供給電圧 [V] CQ_V850周辺の温度 [°C]	ADC10chを記録時 ADC12chを記録時
2+n+m+1列目	測位時刻 (UTC)	GGA情報が記録設定されている 時のみ記録
2+n+m+2列目	測位緯度の極性 (North or South)	
2+n+m+3列目	測位緯度	
2+n+m+4列目	測位経度の極性 (East or West)	
2+n+m+5列目	測位経度	
2+n+m+6列目	平均海水面からのアンテナ高度 [m]	
2+n+m+7列目	WGS-84楕円体から平均海水面 までの高度差 [m]	
2+n+m+8列目	GPSのクオリティ	
2+n+m+9列目	受信衛星数	
2+n+m+r+1列目 (r = 0 or 9)	測位緯度の極性 (North or South)	RMC情報が記録設定されている 時のみ記録
2+n+m+r+2列目	測位緯度	
2+n+m+r+3列目	測位経度の極性 (East or West)	
2+n+m+r+4列目	測位経度	
2+n+m+r+5列目	対地速度 [knot]	

表 2：USBGPS2とCQ_V850の通信設定

設定項目	USBGPS2	CQ_V850
BaudRate	4,800 [bps]	115,200 [bps]
DataBits	8	8
Parity	None	None
StopBits	1	1

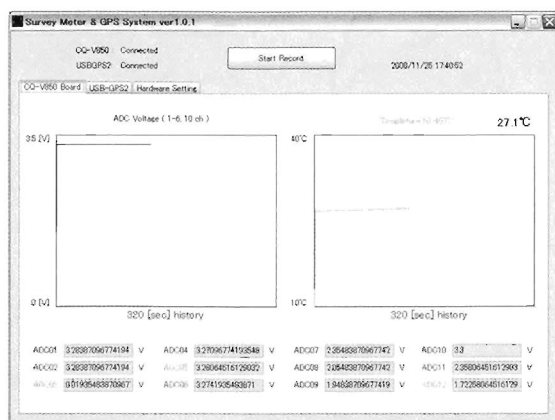


図 7：計測ソフトウェアのインターフェース例

4. 地図表示システム —測定ログファイルの表示用ファイルへの変換—

4.1. Google Maps APIによる地理情報システム (GIS : Geographic Information System)

Google MapsはGoogle社が提供する地図サービスであり、web2.0の代表例でもある。本研究では、Google Mapsを用いる事で、放射線量率の地図上への表示を実現した。これにより、これまで専門技術が必要だった地質図上へのガンマ線量率表示も容易に可能となった。

具体的にはGoogle Maps APIのGpolyline関数を用いログファイルに記録された測定経路を表示、colorプロパティによりガンマ線量率の表示を行い、必要に応じて地質図をオーバーレイする様にした。これにより、地図上・地質図上における放射線量分布を一目で認識、他地域との比較が容易に可能となった。

この様にして得られた計測・表示結果はweb上に公開する事も可能となっている。

4.2. 放射線量率の地図上への表示

前述の計測システムによる計測結果は1秒間に1点の頻度で記録されており、そのデータ量はある一地域に対してでも、数千点から数万点という非常に

膨大なものとなる。それゆえ、測定ログファイルから表示用ファイルへの変換を手動で行なう事はほぼ不可能となっている。その為、GPS情報、放射線量率から表示用ファイルへの変換を行なう為のソフトウェアをVisual C#で開発した。

出力ファイルのHTMLヘッダー、JavaScriptの共通部分は固定出力するようにし、表示地図に関する設定情報はソフトウェアにより任意に設定、GPS情報を有する測定点に関しては放射線量率を色表示するようにした。ソフトウェアのインターフェースを図8に示す。

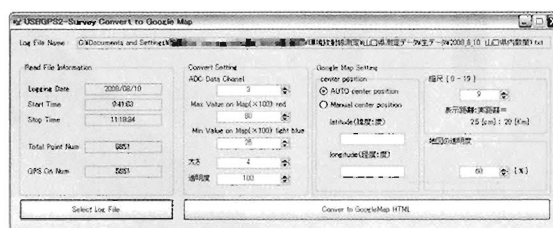


図 8：Google Map用変換ソフトウェアのインターフェース

5. 山口県におけるガンマ線量率測定

上記システムの試験適用として山口県宇部市周辺におけるガンマ線量率のカーボン（車載）測定及び徒歩による山口県秋芳洞内の放射線量率測定を行った。以下に測定条件および測定結果を示す。

5.1. 山口県宇部市周辺のガンマ線量率分布

山口県の地質は古生代から新生代第四紀までの地層・地質が一通り揃っており、その特徴ゆえ古くから多くの地質学者によって研究されてきている。そのような研究成果のうちでも、1878年（明治11年）に高島北海の作成した地質図は、日本で最初の分色地質図であり⁴⁾、山口県の地質分布の特異性を示す事例の一つでもある。



図9：宇部市周辺の道路上におけるガンマ線量率

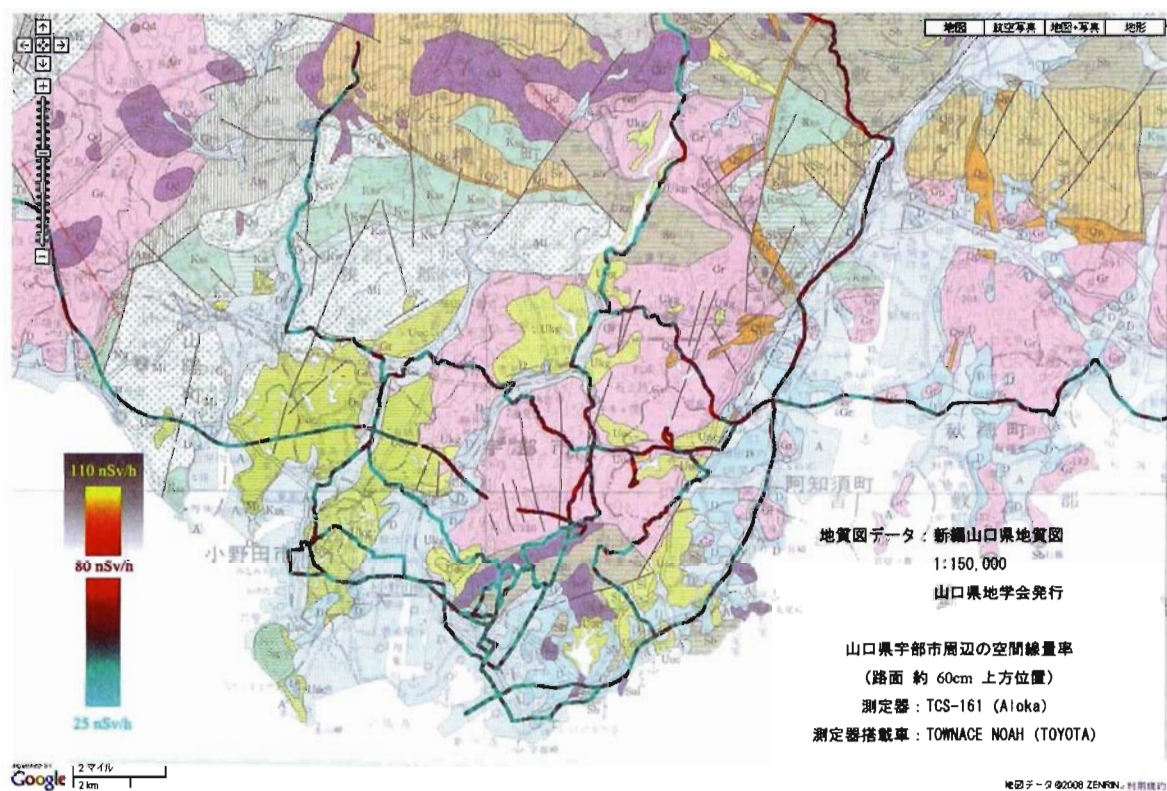


図10：宇部市周辺の道路上におけるガンマ線量率（地質図と比較）

宇部市は、そのような地質配置を持つ山口県の南西部に位置しており、その気候は温暖で雨の少ない典型的な瀬戸内気候となっている。文献⁵⁾によれば、宇部市周辺の地質は、厚東川を中心とした沿岸部の西側は新生代第四紀の沖積層（礫・砂・粘土）、東側は洪積層（礫・砂・粘土）を主な地層として持つ（ただし、厚東川河口部の工場地帯は埋立地）。沿岸部から内陸部に入ると、西部（小野田市）は新生代第三紀の宇部夾炭層（礫岩・砂岩・泥岩・火山灰・石炭）となり、東部（宇部市）は中生代および古生代の蛇紋岩・かんらん岩・泥質片岩などを経て中生代白亜紀の花崗岩類となる。

上記の地質を持つ宇部市周辺の道路上のガンマ線量率測定を、今回構築した放射線量率測定システムを用いて測定した。車載測定法により、2008年8月11日から8月15日までの間に測定を行った。測定システムの搭載車両にはトヨタ自動車株式会社のTOWNACE NOAHを用いた。放射線測定器（TCS-161）の有感部が路面上方約60cmに位置するようにシステムを設置し、時定数を10[sec]とし移動速度は時速40～70[Km]程度で測定を行った。

測定の結果をGoogle Map上に表示したものを図9に、地質図⁹⁾と重ねて表示したものを図10に示す。図9、図10より、宇部市善和近辺（花崗岩類地域：図10中央のピンク色の地域）のガンマ線量率が周辺地域に比べ、高い傾向にあることがわかる。しかしながら、善和東部にはゴルフ場があり、善和東部の相対的に高い線量率の原因が地質によるものか、ゴルフ場の肥料によるものかは断定できない。これ以外の地域に関しては、図9、図10の右上部に位置する八幡山近辺の県道28号線上（泥質片岩地域：図10右上部の茶色の地域）の放射線量率が高いことがわかる。

以上の測定・表示結果より、今回構築したシステムが全体的な傾向を掴むにあたって非常に有用であり、線量率の地域的な偏りを一目で把握できることがわかった。

5.2. 秋芳洞内のガンマ線量率分布

秋芳洞は山口県中部に位置する日本最大級の鍾乳洞であり、特別天然記念物に指定されている⁶⁾。また、日本でも有数のカルスト台地で特別天然記念物に指定されている⁶⁾秋吉台の地下に位置しており、地質としては、石灰岩質となっている。更に、秋吉台には大規模な地層逆転構造があり、学術的に非常に興味深い地域でもある。

今回構築した放射線量率測定システムを用いて、秋芳洞内の放射線量率を測定した。測定は2008年8月15日に徒歩により行い、放射線量率を時系列測定した。放射線測定器（TCS-161）の有感部が、地面上方3～40[cm]の範囲におさまるように測定を行った。ただし、測定場所が洞窟内であった為、GPS情報を取得することは出来なかった。

測定結果を図11に示す。横軸は測定時刻、縦軸はTCS-161により測定されたガンマ線量率である。

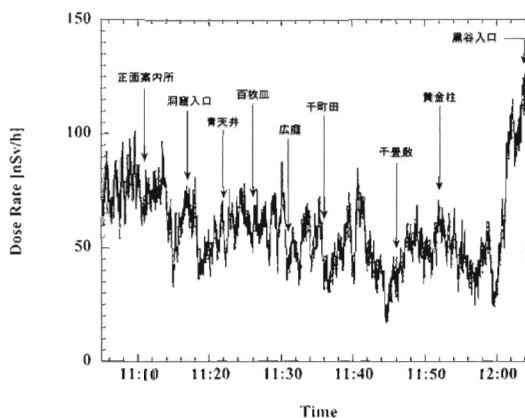


図11：秋芳洞内におけるガンマ線量率の変化

図11より、洞窟内のガンマ線量率が洞窟外のガンマ線量率より若干低い傾向にあることがわかる。これは、岩石の主成分が炭酸カルシウムで、他の岩盤からの⁴⁰K起源の放射線および宇宙線の遮蔽効果がある為ではないかと考えられる。また、黒谷入口周辺においてガンマ線量率が高くなっているが、これは黒谷入口近辺の洞内通路がコンクリートブロック

により覆われているのではないかと考えられる。

以上の測定結果より、今回構築したシステムが非常に簡易に持ち運び出来、時系列測定が可能であることがわかった。

6. まとめ

上記の放射線量率位置測定システム・地図表示システムの構築により、環境放射線量率の詳細な地域偏りを測定・可視化することに成功した。今回の測定において取得したGPS情報を有するデータ点は37,000点にもおよび、これを人間の手により測定・処理することは不可能であり、まさに自動化によりもたらされた結果であると言っても過言ではない。

特に測定・記録・地図上への描画を自動化したこと恩恵は非常に大きいにも関わらず、今回のシステム構築に必要とした金額は非常に安く、サーベイメータ・PCの価格を除くと僅か数万円以内で実現することが出来る（サーベイメータを追加するだけで簡易に6系統まで拡張可能な状態であるにも関わらず、である）。これより、本システムが環境放射線量率の地域的な偏りを「簡易に」また「系統的に」測定・考察する為の道具として非常に有用であることがわかった。

今後は本システムを用いて、環境放射線量率の測定間隔がまばらな地域における、放射線量率の地域的な偏りの測定を行っていく予定である。

最後に、本システムを構築するにあたり非常に有用であった参考文献を挙げる。^{7) 8)}

参考文献

- 1) S. Abe, K. Fujitaka, M. Abe and K. Fujimoto, J. Nucl. Sci. Tech., 18[1], pp21-45 (1981)
- 2) S. Minato, J. Geog., 115 (1), pp87-95 (2006)
- 3) Interface 2007年5月号：特集 付属V850基盤で学ぶマイコン開発の基礎 (2007、CQ出版社)
- 4) 日本地質図大系 中国・四国地方：通商産業省

工業技術院地質調査所 監修 (1991、朝倉書店)

- 5) 新編山口県地質図 (1:150,000)：西村祐二郎、今岡照喜、宇多村譲、亀谷敦 編集 (1995、山口地学会)
- 6) 文化庁ホームページ：
<http://www.bunka.go.jp/index.html>
- 7) Visual C# 2005 逆引き大全500の極意：池谷京子、増田智明、国本温子 著 (2006、株式会社秀和システム)
- 8) Google Maps API 逆引きクイックリファレンスWEB2.0対応：古籴一浩 著 (2006、毎日コミュニケーションズ)