

### 3 空間線量率マップ、土壌濃度マップの作成

#### 3.1 調査の対象範囲、調査箇所数

##### 3.1.1 空間線量率の測定範囲、土壌採取範囲の考え方

第2次分布状況等調査の実施の方針に関しては、第1次分布状況等調査で設置したマップ検討会の中で検討を行った。第1次分布状況等調査以降に、当時実施されていた航空機モニタリングの結果等から放射性セシウムの沈着範囲が遠方にも及んでいることが明らかになったため、空間線量率が比較的高く放射性セシウムの沈着が相当量あることが確認された地域全域を測定対象とする必要性が議論された。また、今後除染作業等が行なわれることを考慮し、除染の対象となる可能性のある地域について詳細なデータが必要であることが指摘された。

このような提言を踏まえ、これまで空間線量率や放射性核種の放射能濃度測定や航空機モニタリングの結果を参照し、福島県周辺地域まで含めた空間線量率が  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以上の地域を中心に調査対象地域とすることとした。この結果、北は岩手県から南は神奈川県、山梨県に至る広範な地域（1都10県）が調査の対象地域となった。ガンマ線放出核種の沈着量の測定にあたっては各調査箇所において原則 in-situ 測定を実施した。空間線量率が  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以上の地域は  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  のメッシュを設定する一方、その周辺の空間線量率が  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以下の地域は  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  のメッシュを設定し、各メッシュに1箇所の調査箇所を選定した。空間線量率が高いために in-situ 測定を適切に実施することが難しい福島第一原発の周辺の地域では土壌を採取して分析を行なった。さらに、第1次分布状況等調査との継続の観点並びに in-situ 測定との比較・検証の観点から、in-situ 測定を実施した箇所の一部において、土壌を採取して分析を行った。

また、上記のメッシュ全域をカバーするよう走行サーベイの対象地域を設定した。

放射性ストロンチウムの沈着量の測定にあたっては、第1次分布状況等調査より広範な地域における福島第一原発事故由来のストロンチウム 89、90 の拡散範囲を確認するため、東日本の空間線量率が高い地域を中心に新たに土壌を採取し、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定すると共に、第1次分布状況等調査においてセシウム 137 に比べてストロンチウム 89、90 の沈着量が大きいたことが確認された調査箇所の周辺においても同様の傾向にあるか確認するため、第1次分布状況等調査時に採取された土壌試料を用いて、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定した。

さらに、プルトニウムの沈着量の測定にあたっては、第1次分布状況等調査において調査対象範囲としなかった福島第一原発から  $80 \sim 100 \text{ km}$  圏内で採取された土壌試料について新たに定量すると共に、第1次分布状況等調査においてプルトニウム 238、239+240 が検出された調査箇所の周辺で採取された土壌試料についても新たに定量した。また、今回の調査においては、プルトニウム 241 は被ばく線量評価上、線量換算係数はプルトニウム 238、239+240 と比べて1桁小さいものの、経済産業省原子力安全・保安院が公表している福島第一原発からの放射性核種の放出量試算値（平成23年10月20日公表）において、プルトニウム 238 の約63倍放出されていると試算されていることを考慮し、新たにプルトニウム 241 について分析することとした。なお、ガンマ線放出核種の沈着量の測定にあたっては、第1次分布状況等調査の測定結果と比較するため、第1次分布状況等調査において土壌を採取した箇所が当該メッシュ内に存在する場合には、そのなか

ら今回の調査箇所を選択した。第1次分布状況等調査での土壌採取箇所が存在しない場合には新たに調査箇所を選択した。その上で各市町村と調整を行い、調査箇所を決定した。

その結果、最終的に通行止め等で調査箇所に到達不可能等により調査できなかった箇所を除き

①ガンマ線放出核種については1都10県（1,016箇所）

②放射性ストロンチウムについては1都9県（60箇所）

③プルトニウム238、239+240、241については福島第一原発から100km圏内（62箇所）

で調査を実施した。

### 3.1.2 メッシュ設定の考え方

放射線量等分布マップの作成対象としたメッシュの設定にあたっては、日本地図センターの協力により、下記のように、JISX0410 地域メッシュコードに準じて、調査範囲の分割を行った。

- ① 空間線量率が $0.2\mu\text{Sv/h}$ 以下の地域に対しては、JISの第2次メッシュ（およそ $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ ）を本調査における「 $10\text{ km}$ メッシュ」として設定した。なお、第1次メッシュは、全国を経線及び緯線についてそれぞれ1度及び40分毎に分割したもので、国土地理院が刊行する $1/20$ 万地形図の区画に相当する。第2次メッシュは、経度緯度方向を更に8等分（経線は7分30秒、緯線は5分）したもので、 $1/2.5$ 万の地形図の区画に相当する。
- ② 空間線量率が $0.2\mu\text{Sv/h}$ を越える場合には、第2次メッシュをさらに細分化して $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ の「 $5\text{ km}$ メッシュ」を設定した。

図3.1.2-1は、 $10\text{ km}$ メッシュ、 $5\text{ km}$ メッシュを地図上に示したものである。また、調査対象とするメッシュには、福島第一原発からの距離及び位置関係に応じた認識番号（ID番号）を付した。福島第一原発から南北方向の距離を最初に記載し、その後に方向を示すアルファベット1文字（北方向はN、南方向はS）を加えることとした。例えば、 $30\text{ km}$ 北あるいは $50\text{ km}$ 南にあるメッシュへは全て30N、50Sと最初に記載した。その後、福島第一原発から西方向への距離に応じた数字を更に付した。これにより、例えば、福島第一原発から $30\text{ km}$ 北、 $40\text{ km}$ 西のメッシュは30N40とし、 $50\text{ km}$ 南、 $20\text{ km}$ 西の場合、50S20とした。なお、宮城県で調査した $10\text{ km}$ メッシュのうち3箇所は福島第一原発より東側に位置したため、末尾にEを付した。

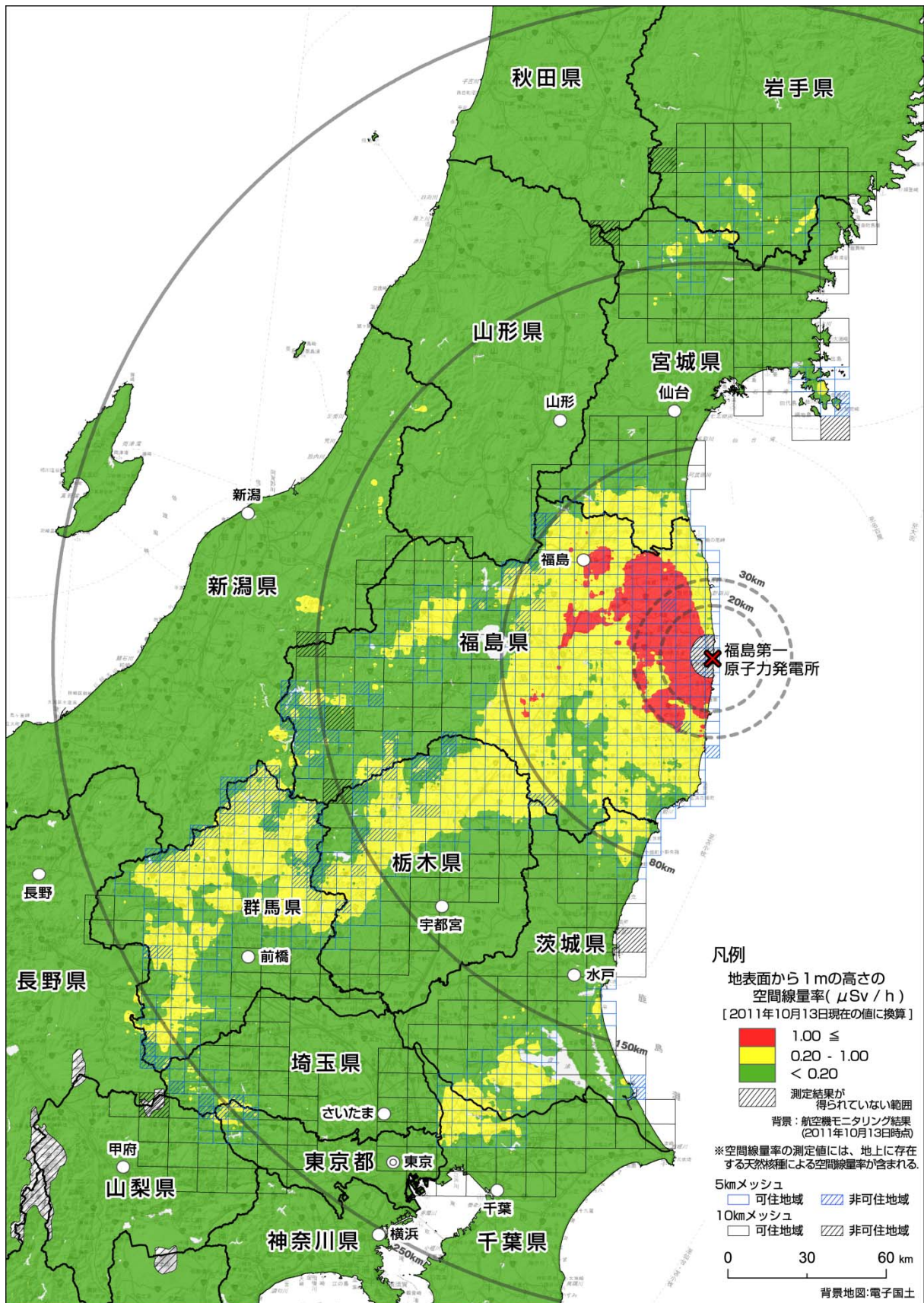


図 3.1.2-1 調査対象箇所のメッシュ設定

### 3.1.3 調査箇所の選定

ガンマ線放出核種の調査箇所は、分割した 5 km メッシュ、10 km メッシュ内から 1 箇所を選定し、地表から 1 m 高さで in-situ 測定を実施するとともに、サーベイメータによる空間線量率の測定を行なった。また、一部の箇所においては土壌採取を行った。複数の市町村が一つのメッシュ内にあった場合には、原則として面積の大きい市町村側で調査を実施することとしたが、場合によっては複数の市町村で調査を実施した。ただし、当該メッシュが、平成 17 年度の国勢調査を踏まえた国土地理院の地図情報より、山林等の非可住区域であることが確認されていた場合、調査の対象外とした。また、福島第一原発から 20 km 圏内に関しては、空間線量率が高く、地震等の影響により道路状況が悪くアクセスが難しい箇所も存在したため、東京電力株式会社と情報を交換しつつ調査箇所の検討を行った。

また、各調査箇所の選定にあたっては、対象としたメッシュごとに公共施設等を記した地図を参照し調査箇所を選定した。今回の調査では、事前に調査の許可があった場合を除いて、私有地は調査箇所としなかった。なお、in-situ 測定は、極力、地表面以外の放射性物質の影響を受けないよう、平坦な地形で周囲 10m 程度までの範囲に大きな障害物がない場所を選定した。また、土壌中の放射能濃度の定量を目的としたため、土壌の上で測定を行い、アスファルト等の舗装面上は避けた。森林周辺においては、樹体に放射性物質が付着していることが想定されたため測定箇所として避け、できるだけ植生の少ない箇所を選定した。選定した場所では、測定箇所を中心に 3m×3m の範囲でサーベイメータをゆっくりと移動させ、急激に空間線量率が変化する特異点が存在しないことを確認した。例えば、雨水の流れる雨樋下やその近くの土壌及び側溝は、放射性物質が溜まっている可能性もあり、このような場所は空間線量率の測定箇所から除くこととした。実際の調査では、道路事情等によりアクセスができずに調査が実施できなかった箇所もあった。5 km メッシュ及び 10 km メッシュにより設定された調査箇所の総数は、1,016 箇所であった。市町村別の調査箇所数を Appendix 3.1 にまとめた。

地元市町村と調整した上で測定箇所を最終決定した。調査員は、今回新たに開発した放射線量等測定情報収集システムに測定場所の地図をダウンロードし、この地図に従って調査場所に赴いた。測定箇所の緯度・経度の GPS 情報は放射線量等測定情報収集システムで自動的に取得される。測定した空間線量率及び調査箇所の状況、写真等は、調査実施者 2 名によるダブルチェックで確認した後、携帯電話回線を利用して放射線量等測定情報収集システムからデータ収集サーバに転送され記録された。

放射性ストロンチウムの調査箇所は、第 1 次分布状況等調査で調査対象とした福島第一原発から 80km 圏内を除き、東日本全域における航空機モニタリングの測定結果(空間線量率)において、空間線量率が  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以上の地域で新たに土壌試料を採取し、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定した。なお、調査箇所の選定にあたっては  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以上の地域を 5km メッシュに分割し、このメッシュの中から地域に偏り無く調査箇所 (50 箇所 : 50 試料) を選定した。また、第 1 次分布状況等調査において、相馬市で採取された土壌試料のうち 1 箇所の試料 (1 試料) において、セシウム 137 に対するストロンチウム 89、90 の沈着量の比率が他の箇所と比較し非常に大きいことが確認された調査箇所において、第 1 次分布状況等調査の際に採取した試料の残り 4 試料を全て分析した。これに加えて、この周辺の 9 つの調査箇所において第 1 次分布状況等調査の際に採

取した土壌試料のうち、セシウム 137 の沈着量が最も多い試料をそれぞれ 1 試料ずつ選定し、ストロンチウム 89、90 の分析を行った。

プルトニウム 238、239+240 の調査箇所は、第 1 次分布状況等調査の際に採取した土壌試料のうちこれまでに核種分析を実施していない土壌試料を分析した。内訳は、福島第一原発から 80～100km 圏内で採取された土壌試料（8 試料）及び第 1 次分布状況等調査において、福島第一原発の事故由来と考えられるプルトニウム 238、239+240 が検出されたメッシュに隣接するメッシュ内で採取された土壌試料（54 試料）の分析を行った。

プルトニウム 241 は低エネルギーのベータ線を放出する。よって測定時に検出限界値を下げるのが難しいことから精度の良い分析が困難である。そこで今回の調査では、第 1 次分布状況等調査でプルトニウム 238、239+240 が検出された試料を中心にプルトニウム 241 を分析し、プルトニウム 238、239+240 との沈着量の比率を求め、これを基にプルトニウム 241 の未分析箇所における沈着量を推定可能かの検討を行うこととした。

これらを踏まえてプルトニウム 241 の調査箇所は、第 1 次分布状況等調査においてプルトニウム 238 もしくはプルトニウム 239+240 が検出された分析後の試料（54 試料）及び、今回の調査で新たにプルトニウム 238、239+240 を分析した土壌試料のうち、福島第一原発から 80～100km 圏内で採取された土壌試料について、プルトニウム 238、239+240 の分析後の試料（8 試料）の分析を行った。

調査箇所について整理すると

- ①ガンマ線放出核種の測定（in-situ 測定）については 1 都 10 県（福島県、茨城県、岩手県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、栃木県、宮城県、山梨県、神奈川県）、1,016 箇所
- ②放射性ストロンチウムについては 1 都 9 県（福島県、茨城県、岩手県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、栃木県、宮城県、山梨県）50 箇所及び相馬市（第 1 地点）<sup>†</sup>周辺の 10 箇所（相馬市（第 1 地点）1 箇所及びその周辺の 9 箇所）
- ③プルトニウム 238、239+240 の測定については 4 県（福島県、宮城県、茨城県、栃木県、）62 箇所
- ④プルトニウム 241 の測定について 4 県（福島県、宮城県、茨城県、栃木県）62 箇所

走行サーベイによる道路上の空間線量率の測定については、1) KURAMA システムを用いた原子力機構による測定、並びに 2) KURAMA-II システムを用いた地方自治体による測定を実施した。

1)については、測定対象となる地域の主要な道路を走行し、走行距離は延べ約 40,000 km（1 都 10 県）であった。また 2)については、各地方自治体で測定が必要と考える道路を走行してもらい、1 都 9 県での走行距離は延べ約 70,000km であった。

---

<sup>†</sup>第 1 次分布状況等調査の際、相馬市で採取された土壌試料のうち 1 箇所の試料において、セシウム 137 に比べてストロンチウム 89、ストロンチウム 90 の沈着量大きいことが確認された調査箇所

## 3.2 放射性核種の放射能濃度の測定

### 3.2.1 ガンマ線放出核種の沈着量の測定

(1)ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定によるガンマ線放出核種の沈着量の測定

#### ① ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定の測定原理と測定方法

第1次分布状況等調査においては、多くの箇所において土壌試料を採取し、分析機関の据え置き型ゲルマニウム半導体検出器でガンマ線スペクトル解析を行い、土壌中の放射性核種の定量を実施した。第1次分布状況等調査の時点では短半減期のヨウ素 131 の定量を含め短期間に多くの試料の測定を行なう必要性があったため、このような手法を用いたのに対し、第2次分布状況等調査においては、短半減期核種は検出されないことが明らかであったことから、土壌表層の平均的なガンマ線放出核種の沈着量を詳細に測定することを目的とした。一方、in-situ 測定は、広範囲に存在する放射性核種から放出されるガンマ線を検出して放射性核種の定量を行なうため、調査箇所周辺に存在する放射性核種の平均的濃度を評価するには適した手法である。日本においては、in-situ 測定は広くは普及しておらず、測定に使用できる検出器の台数や測定を適切に実施できる人員に限りがあったために、短半減期核種であるヨウ素 131 を可能な限り多くの測定箇所でも測定することを目的として、第1次分布状況等調査では大規模な in-situ 測定は実施しなかったが、第2次分布状況等調査においては、相当数の測定チームを組織できる見通しがあったことを考慮し、in-situ 測定を実施した。

in-situ 測定においては、可搬型ゲルマニウム半導体検出器を調査箇所の地上 1m に設置し、環境中に分布した放射性核種から放出されるガンマ線を測定し、注目したピークカウントから放射性核種毎の沈着量の定量と空間線量率の評価を行う。in-situ 測定の様子を図 3.2.1-1 に示す。データ解析においては、環境中における放射性核種が水平方向に均一分布し、深度方向には指数関数分布をすると仮定して放射能濃度の定量を行う。これらの放射性核種分布の仮定が成り立たないと見なされる箇所も存在する。そのような箇所があるため、測定結果には一定の不確かさが含まれると考えられる。

ガンマ線スペクトルのピークカウントから土壌単位面積当たりの放射性核種毎の放射能を評価し、評価した沈着放射能から空間線量率を評価する。これらの評価のための基礎データは、現在、国際放射線単位測定委員会(以下、「ICRU」という。)のレポート 53 (以下、「ICRU53」という。)に記載された値が標準的に用いられており、文部科学省のマニュアル(放射能測定法シリーズ 33:ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法)も ICRU53 に基づいている。今回の測定は、この文部科学省マニュアルに従って実施した。

測定時間は1時間を原則としたが、一部の調査箇所では、十分な統計的精度が得られていることを確認した上で測定時間の短縮を行った。

#### ② 測定機関

ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定にあたっては、in-situ 測定用の可搬型ゲルマニウム半導体検出器を有しているとともにデータ解析能力を有する機関に測定への参加を依頼した。日本分析センター、原子力機構、理化学研究所、原子力安全技術センター、放射線計測協会、フランスの放射線防護原子力安全研究所(以下、「IRSN」という。)が測定に参加した。in-situ

測定を複数機関で実施したため、測定手法の標準化を図るために測定マニュアルを作成した。また、in-situ 測定の開始時期に、測定に参加する全てのチームを一同に集めて同じ箇所での測定を行い、相互比較により測定が適切に行なわれていることを確認した。



図 3.2.1-1 ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定の様子

## (2) 土壌採取を通じたガンマ線放出核種の沈着量の測定

第 2 次分布状況等調査では、第 1 次分布状況等調査において土壌を採取したエリアから、さらに範囲を拡大したエリアについて、in-situ 測定を実施するとともに、in-situ 測定を実施する 5 か所程度に 1 か所から表層 5cm の土壌試料を採取・分析し、in-situ 測定法による結果と土壌採取を通じたガンマ線放出核種の沈着量の測定結果の比較を実施した。また、空間線量率が非常に高いこと等により、in-situ 測定が適切に行えないと判断された調査箇所においても土壌試料を採取し、分析を行った。なお、これらの土壌採取箇所は、放射性核種の沈着状況の変化を継続的に確認していくため、第 1 次分布状況等調査と同様に、採取箇所として長期的に攪乱がないと予想される場所を選択した。1 つの調査箇所につき、3 m 四方程度の範囲の中から、5 地点で土壌試料を採取した。

### ① 土壌の採取方法

本調査では、第 1 次分布状況等調査と同様、土壌試料をポリエチレン袋に入れた後その中でよく混ざるように攪拌したのち U-8 容器内へ保管することを基本とした。作業は第 1 次分布状況等調査の際に定めたマニュアルに従い実施した (Appendix 3.2 参照)。警戒区域内の作業では、被ばくを考慮して、空間線量率の低い地域に持ち出した上で攪拌する等、状況に応じて適宜採取方法を変更して行った。第 1 次分布状況等調査と同様に、手袋、ナイフ、ポリエチレン袋等は使い

捨てとして、また採土器具は頻繁に除染を行う等、放射性物質の蓄積状況が異なる調査箇所では採取した土壌が互いに混合すること（クロスコンタミネーション）を防止した。

## ② 土壌中のガンマ線放出核種の放射能濃度の測定

据え置き型ゲルマニウム半導体検出器については、放射能が既知の標準線源を用いて、適切に校正されたもののみを使用した。また、放射能濃度の測定にあたっては、土壌試料を分析機関に輸送する前にU-8容器が完全に密封されていることを確認し、アルコールティッシュで容器表面を除染する等の処置を行い、ゲルマニウム半導体検出器の遮蔽体内に分析する土壌試料からのコンタミネーションが発生しないように注意した。なお、放射能濃度の測定においてはセシウム134及びセシウム137を主要な対象とし、その他の核種が検出された場合には適宜記録することとした。

## ③ 測定機関

据え置き型ゲルマニウム半導体検出器を有し、信頼性のある結果を得ることが期待できる研究機関である日本分析センター、東京大学、大阪大学、環境科学技術研究所においてガンマ線を放出する放射性核種の放射能測定を実施した（スクレーパープレートによる土壌試料を含む）。

### 3.2.2 土壌中のアルファ線放出核種及びベータ線放出核種の放射能濃度の測定

第1次分布状況等調査においては、福島第一原発から約100km圏内で採取した2,200箇所（11,000試料）の土壌試料から100試料を選定して、アルファ線放出核種（プルトニウム238、プルトニウム239+240）及びベータ線放出核種（ストロンチウム89、90の放射能濃度を求めた。その結果、各調査箇所におけるプルトニウム238、プルトニウム239+240の沈着量は、いずれも、福島第一原発の事故発生前に全国で観測されているプルトニウム238、プルトニウム239+240の測定値の範囲に収まるレベルであったが、一部の試料には福島第一原発の事故に伴い放出されたプルトニウムの影響が確認された。このため、福島第一原発の事故に伴い放出されプルトニウム238、プルトニウム239+240の詳細な拡散状況を確認するためには、更なる調査が必要であった。

また、第1次分布状況等調査の結果から、ストロンチウム89、90の沈着範囲が福島第一原発の80km圏内に留まらないほか、一部の調査箇所ではセシウム137に比べてストロンチウム89、90の沈着量が大きいことが確認されており、その周辺においても同様の傾向にある可能性が示唆された。

#### (1) プルトニウム238、239+240、241の放射能濃度の測定

##### ① プルトニウム238、239+240、241の放射能濃度の測定方法

今回の調査では、代表的なアルファ線放出核種であるプルトニウム238、239+240の詳細な拡散状況を把握するため、第1次分布状況等調査において調査対象範囲としなかった福島第一原発から80～100km圏内で採取された土壌試料について新たに核種分析を実施するとともに、第1次分布状況等調査においてプルトニウム238、239+240が検出された調査箇所の周辺で採取された土壌試料についても新たに核種分析を実施した。



また、今回の調査においては、プルトニウム 241 は被ばく線量評価上、換算係数はプルトニウム 238、239+240 と比べて 1 桁程度小さいものの、経済産業省原子力安全・保安院が公表している福島第一原発からの放射性物質の放出量試算値（平成 23 年 10 月 20 日公表）において、プルトニウム 238 の約 63 倍放出されていると試算されていることを考慮し、新たにプルトニウム 241 について分析することとした。

プルトニウム 238、239+240 については、第 1 次分布状況等調査で採取した土壌試料のうち、50g を取り分け、放射化学分析し、シリコン半導体検出器を用いて 80,000 秒（1,333 分）程度測定した。検出限界値は 50 Bq/m<sup>2</sup> 程度である。

また、プルトニウム 241 については、低エネルギーのベータ線しか放出しないため、検出下限値を下げるのが難しく、精度の良い測定が困難である。そこで、今回の調査では、第 1 次分布状況等調査でプルトニウム 238、239+240 が検出された試料を中心に再利用してプルトニウム 241 を分析し、プルトニウム 238、239+240、241 の沈着量の比率を求めることで、この比率を基にプルトニウム 241 を分析していない箇所におけるプルトニウム 241 の沈着量を推定可能か検討することとした。そこで、以下のプルトニウム 238、239+240 を分析した後の試料（第 1 次分布状況等調査時にプルトニウムを測定した試料及び今回新たにプルトニウムを測定した後の試料）を分析した。

- ・第 1 次分布状況等調査においてプルトニウム 238 もしくはプルトニウム 239+240 が検出された、プルトニウム 238、239+240 の分析した後の試料（54 試料）
- ・今回の調査で新たにプルトニウム 238、239+240 を分析した土壌試料のうち、福島第一原発から 80～100km 圏内で採取された土壌試料についてプルトニウム 238、239+240 を分析した後の試料（8 試料）

なお、プルトニウム 241 の沈着量の測定にあたっては、プルトニウム 238、239+240 についてアルファ線を測定した試料（電着板）を再利用し、再度、化学分離した上で、液体シンチレーションカウンタを用いて、約 500 分間、プルトニウム 241 のベータ線を計測した。プルトニウム 241 の検出下限値は約 50Bq/m<sup>2</sup> である。なお、今回の調査では、プルトニウム 238、239+240 のアルファ線を測定した試料を再利用してプルトニウム 241 を分析する手法を用いた結果、検出下限値が上がる可能性がある。

## ② ストロンチウム 89、90 の放射能濃度の測定方法

ストロンチウム 89、90 については、広範な地域における福島第一原発の事故由来のストロンチウム 89、ストロンチウム 90 の拡散範囲を確認するため、東日本の空間線量率が高い地域を中心に新たに土壌を採取し、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定するとともに、第 1 次分布状況等調査においてセシウム 137 に比べてストロンチウム 89、ストロンチウム 90 の沈着量が大いことが確認された調査箇所（以下、「相馬市（第 1 地点）」という。）の周辺においても同様の傾向にあるか確認するため、第 1 次分布状況等調査においてセシウム 137 に比べてストロンチウム 89、90 の沈着量が大いことが確認された調査箇所の周辺の調査箇所第 1 次分布状況等調査時に採取された土壌試料を用いて、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定した。

福島第一原発から 80 km圏外の地域の調査箇所にて採取された土壌試料におけるストロンチウム 89、ストロンチウム 90 の沈着量の測定にあたっては、第 1 次分布状況等調査で分析に使用した土壌試料量 (30g) の約 3 倍の試料量 (100g) を用い、第 1 次分布状況等調査時よりもストロンチウム 89、90 の沈着量の検出下限値を低下させた。検出下限値は、ストロンチウム 89 で約 100Bq/m<sup>2</sup> であり、ストロンチウム 90 は、約 15Bq/m<sup>2</sup> である。

また、相馬市 (第 1 地点) 及びその周辺の調査箇所にて採取された土壌試料におけるストロンチウム 89、90 の沈着量の測定にあたっては、第 1 次分布状況等調査時と同様に、各調査箇所にて採取された土壌試料のうち、30g の土壌試料を取り分け、ストロンチウム 89、90 の沈着量を測定した。検出下限値は、ストロンチウム 89 で約 300Bq/m<sup>2</sup> であり、ストロンチウム 90 は、約 40Bq/m<sup>2</sup> である。なお、ストロンチウム 89、90 については、第 1 次分布状況等調査で採取した土壌試料のうち、30g を取り分け、放射化学分析し、低バックグラウンドベータ線測定装置を用いて 60 分 (3,600 秒) 程度測定した。

### ③ 測定機関

日本分析センターでプルトニウム 238、プルトニウム 239+240 及びプルトニウム 241、ストロンチウム 89、90 の放射化学分析を実施し、放射能濃度を測定した。

## 3.3 空間線量率の測定

### 3.3.1 KURAMA 及び KURAMA-II システムによる道路上の空間線量率の連続的な測定

#### (1) KURAMA システムを用いた走行サーベイの概要

平成 23 年 12 月期の走行サーベイ (以下、「第 2 次走行サーベイ」という。) において道路上の空間線量率を測定するにあたっては、可能なかぎり、降雪によって精度の良い測定ができなくなる前に迅速かつ詳細に空間線量率を測定するため、走行サーベイを実施することとした。走行サーベイの実施にあたっては、第 1 次分布状況等調査と同様に、緯度・経度情報と空間線量率の情報を同時に取得できる KURAMA システムを使用した。本システムは、京都大学原子炉実験所が開発したもので、市販のサーベイメータのアナログ出力からの空間線量率の測定データと GPS による測定位置情報データを同時に取得することを可能としたシステムである。取得したデータは即座に携帯電話回線を通してサーバに転送され、パーソナルコンピュータ (PC) 上で Google Earth に重ねて表示することができるため、ほぼリアルタイムで測定の状況を確認、表示できる特長がある。

KURAMA システムは、セダン型の一般乗用車に搭載し、後部座席の右側扉の上部の取っ手にサーベイメータの検出部を設置した。通常は NaI (Tl) サーベイメータにより、20km 圏内においては NaI サーベイメータに加えて電離箱型サーベイメータを用いて空間線量率データを取得した。測定は 5 秒ごとに自動的に実施し、空間線量率のデータと同時に GPS による位置情報データを取得した。

第 2 次走行サーベイでは、走行距離として約 30,000km を目標としたが、結果的に約 40,000km を走行して道路上の空間線量率を測定した。原子力機構職員等が 3 名で 1 チームを組織し、10 チームで同時に走行サーベイを実施した。

## (2) KURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイの概要

一方、平成24年3月に実施した走行サーベイ（以下、「第3次走行サーベイ」という。）では、京都大学原子炉実験所で開発され、本事業で整備したKURAMA-IIシステムを用いた。第2次走行サーベイでは、広範な地域（茨城県、岩手県、神奈川県、群馬県、埼玉県、千葉県、栃木県、東京都、福島県、宮城県、山梨県）を対象に、積雪期前の昨年12月時点の道路上の空間線量率の分布状況について確認することができたものの、第2次走行サーベイでは、各市町村から要望があった全ての道路をカバーすることができなかつた他、一部の地域で積雪があったため、これらの地域では空間線量率の分布状況を把握することができなかつた。そこで、第3次走行サーベイでは、各市町村の要望を考慮するとともに、第2次走行サーベイにおいて、降雪等に伴い、空間線量率の分布状況を把握できなかつた地域について、各市町村の協力を得て追加的に走行サーベイを実施した。

### ①KURAMA-IIシステムの概要

第1次走行サーベイや第2次走行サーベイでは、NaIシンチレーション式サーベイメータや電離箱式サーベイメータを別に用意することが必要なKURAMAシステムを用いて走行サーベイを実施したが、KURAMAシステムを用いた走行サーベイは放射線計測に関する技術を必要とするため、今回の調査では、NaIシンチレーション式サーベイメータと同様の計測スペックを保持したタリウム活性化ヨウ化セシウム（以下、「CsI(Tl)」という。）シンチレーション検出器をKURAMAシステムに組み込み、放射線計測に関する知識や技術を必要としない仕様に京都大学で改良したKURAMA-IIシステムを用いて走行サーベイを実施した。KURAMA-IIシステムを図3.3.1-1に示す。35cm(縦)×15cm(横)×17cm(高さ)のケース内に、CsI(Tl)シンチレーション検出器、データ処理及びデータ送信用基板一式が搭載されている。測定された波高スペクトル分布データとデータ処理プログラム内に内蔵されたスペクトル線量換算演算子（以下、「G(E)関数」という。次節参照。）によって算出された3秒ごとの空間線量率データが、GPSによって記録された位置情報と共に、3G回線網を通じて30秒間隔でゲートウェイサーバへ送信される。KURAMA-IIシステムを乗用車内の右側後部座席のヘッドレストの後ろに設置して測定を実施し、車内での測定値から車外での地上から1m高さでの値への補正をデータの自動処理で行う。データ変換サーバに送られた後のデータ処理は、KURAMAシステムと同様である。

測定には、浜松ホトニクス製CsI(Tl)シンチレーション検出器(C12137、結晶サイズ：13mm×13mm×20mm)を使用した(図3.3.1-1(c)参照)。シンチレータからの光信号はMPPC(Multi-Pixel Photon Counter)を介して増幅され、30～2,000 keVの範囲の光子を測定可能である。測定される空間線量率の値の誤差は、空間線量率すなわち検出器へ入射する光子の計数率が大きいほど小さい。例えばバックグラウンド(0.1 $\mu$ Sv/h以下)において、3秒間の計測で得られる空間線量率の誤差は約20%である。なお、原子力機構として独自に実施した基礎特性試験及びその結果についてはAppendix 3.4-1に記載する。

## ②KURAMA-IIシステムを用いた走行サーベイの概要

平成24年3月13～30日の期間に、本事業で整備したKURAMA-IIシステム100台を用いて、10都県（福島県、宮城県、茨城県、栃木県、群馬県、千葉県、埼玉県、東京都、神奈川県、山梨県）内の自治体と協力して測定を実施した。都県への装置の提供台数は、自治体（都県／市町村）の要望に基づき、文部科学省が決定した。都県ごとの提供した台数は次のとおりである。福島県：8台、宮城県：11台、茨城県：15台、栃木県：8台、群馬県：7台、千葉県：13台、埼玉県：11台、東京都：11台、神奈川県：13台、山梨県：3台。

測定は、道路のできるだけ中心部分で周囲の空間線量率を等方的に測定するため、また、KURAMAシステムを用いた第2次走行サーベイと同じ条件で測定を実施するため、装置を一般的なセダントイプ（5人乗り）の乗用車の右側後部（運転手席後方）座席のヘッドレストの後ろに設置して実施することとした。装置を乗用車に積載し電源に接続すると、装置は空間線量率及び位置情報を自動的に収集し、3秒間の空間線量率の平均値及び中間での位置情報を、30秒ごとに10点のデータをまとめて3G回線を通じてゲートウェイサーバへ送信する。ゲートウェイサーバへ送信された測定データは、クラウドコンピューティング技術を応用してDropBox<sup>‡</sup>内に保存される。DropBox内に保存されたデータは、データ変換サーバでGoogle Earth上で可視化するための処理が行われ、測定者等が直ちにPCを用いて空間線量率・位置情報（速報値）を確認することができる。KURAMAシステムを開発した京都大学による技術的サポートの下、装置及び装置～DropBox間のデータの送信、DropBoxに保存されたデータをGoogle Earthで閲覧するためのデータ変換サーバの運用等システム全体の運用取りまとめ及び自治体（都県／市町村）との連絡調整を実施した。測定の計画及び実施は、可能な限り、詳細な空間線量率の分布状況を把握するため、事業としては何の条件も設定せず、各自治体に一任した。

図3.3.1-2にKURAMA-IIシステムによる測定の概要を示す。

## ③KURAMAシステムのデータ自動処理システムの開発

②に示したとおり、KURAMA-IIシステムによる測定にあたっては、約200の自治体にKURAMA-IIシステムを貸し出して詳細な空間線量率測定を実施した。測定の実施期間中は、連日KURAMA-IIシステムを搭載した乗用車が100台規模で走行して空間線量率を測定した。刻々得られるデータを原子力機構が取りまとめ、即日解析を実施したのち、速報版として各自治体に解析結果を通知することとしていた。

本計画を実施するためには、毎日100万点を超えるデータを即日解析する必要があった。この要件に応えるため、KURAMAシステムによる測定データからトンネル内データやGPS装置の精度に起因する異常値データの削除や座標補正等を自動で行うための解析プログラムを有する自動処理システムを開発した。

---

<sup>‡</sup> DropBoxとは電子データをPCやオンラインで同期、共有することができるストレージサービスの一つ。

#### ④走行サーベイによる空間線量率測定とガンマ線成分の同時測定についての検討

独立行政法人放射線医学総合研究所（以下、「放医研」という。）の走行サーベイチームは放医研で開発されたラジプローブを使用し、可搬型ゲルマニウム半導体検出器または CsI(Tl)シンチレーション検出器を用いた走行サーベイシステム（以下、「ラジプローブ」という。）により測定を行った。

KURAMAシステムによる測定値には走行箇所及び周辺環境に存在する、セシウム 134、セシウム 137 の他、カリウム 40 等の自然由来の放射性核種が発するガンマ線が足し合わされており、さらに土壌・草木等に沈着したセシウム 134 及びセシウム 137 の散乱ガンマ線の影響も含まれている。このためKURAMAシステム等のサーベイメータで計測された空間線量率は、放射線防護上の被ばく線量推定を重視したものと言える。一方、ラジプローブは空間線量率に加えて、ガンマ線スペクトルを取得でき、空間線量率の原因となる個別の放射性核種からのガンマ線強度や放射性核種の存在量及び散乱ガンマ線に関する情報が合わせて得られるため、ガンマ線場の物理的解釈の上で有用と考えられる。

ラジプローブは緊急事態において、放射線スペクトルを取得し、安全の確保に役立てると共に、遠隔地からラジプローブを通して指示を与えるために開発されたものである。このため、モバイル通信には、衛星回線も利用できる。

現在、プローブとしては、Mirion Technology 社製 HDS-100GN CsI(Tl)スペクトロメータ及び Canberra 社製 Falcon5000 電子冷却式可搬型ゲルマニウム半導体検出器が利用可能である。HDS-100GN CsI(Tl)スペクトロメータにより取得した空間線量率データをその時の空間線量率とした。

検出器の設置場所については、車中では、各検出器は後部荷物室のシート上に固定した。検出部の高さは約 1.5 m であった。

ここでは、自然由来のガンマ線の空間線量率への寄与率を確認するため、福島県隣県から、首都圏、岩手県、新潟県の範囲を走行しセシウム 137、セシウム 134、カリウム 40 の土壌への沈着量やそれらの存在比を導出した。セシウム 134 の半減期は約 2 年、セシウム 137 は約 30 年であるため、今後、空間線量率は時間と共に漸減していくこと、さらに、人為的な除染や雨水によるセシウム 134 及びセシウム 137 の流入出等により空間線量率が変化していくことが予想される。ラジプローブは、以上 2 つの効果を、セシウム 134 とセシウム 137 の存在比や土壌沈着量等の計測を今後継続的に実施していくことで切り分け、その変化を詳らかにしていくことを目的としている。また、この可搬型ゲルマニウム半導体検出器を搭載したラジプローブにより、KURAMAシステムが計測した道路周辺のガンマ線スペクトルと各放射性核種の存在比を正確に押さえることで、KURAMAシステムによる空間線量率が如何なるガンマ線成分の計測を行ったかとの意味付けをすることが容易になると考えられる。なお、ラジプローブの機器構成や計測及び解析方法については Appendix 3.4-2 に示す。



(a) 外観



データ処理・送信用基板

検出器

(b) ケース内



結晶部分

(c) CsI(Tl)シンチレーション  
検出器

図 3. 3. 1-1 走行サーベイシステム (KURAMA-II システム)

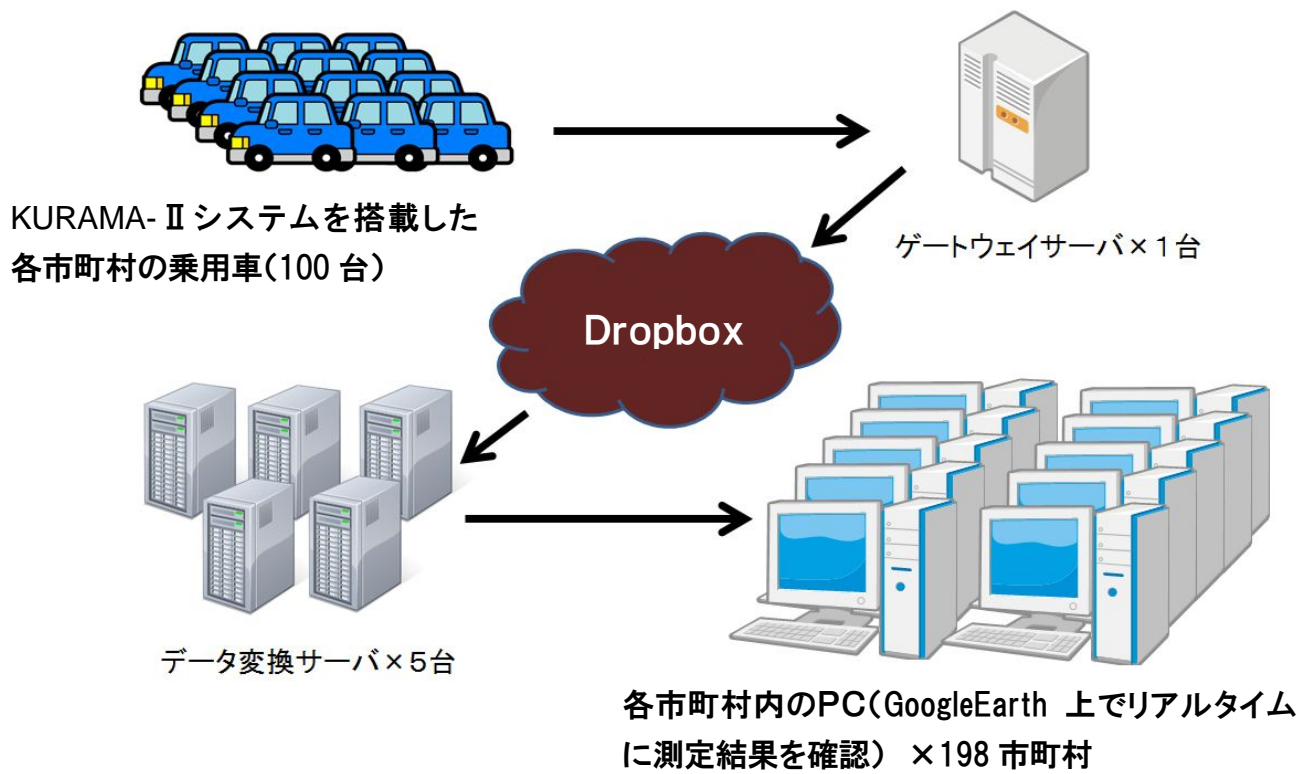


図 3. 3. 1-2 走行サーベイシステム (KURAMA-IIシステム) による測定の概要図

### 3.4 空間線量率等データの収集と管理

福島及び近隣各県において約 2,200 箇所の空間線量率及び土壌表層への放射性核種の沈着量の測定を行った第 1 次分布状況等調査では、調査員が採取箇所の緯度・経度情報や空間線量率等の情報を手書きで記録用紙に記載していたため、調査実施後に手書きの資料を収集し、別途電子化して解析する必要があった。その結果、手書きによる情報の記載には誤記や記載漏れが頻発し、データの集計と確認・修正に多大な時間と工数がかかってしまった。

そこで第 2 次分布状況等調査において、効率的かつ信頼性の高いデータ収集を実現することを目的として、スマートフォンやスマート패드等を実装されている移動体通信技術や GPS 等の測地技術を統合し、極力人手を介さず自動的にデータを収集し、採取現場で即座にデータを送信・確認することを可能にする「放射線量等測定情報収集システム」を開発した。

放射線量等測定情報収集システムは、

- ①測定に使用する機器情報や測定予定箇所情報等の事前登録を行う「事前情報登録システム」
- ②実際に測定を実施した測定箇所情報や放射線量等の情報をスマートデバイスに登録して、データ収集作業を行う担当者グループ（原子力機構東京事務所内）（以下、「ベースキャンプ」という。）に送信する「測定データ送信システム」
- ③送信された測定データを収集してデータに誤りがないか確認を行う「測定データ収集・確認システム」

により構成される。測定現地の担当者 2 名に加えベースキャンプにいる担当者が収集したデータに誤りがないかの確認を行い、測定データに対する承認や再測定の指示等を行うことで第 1 次分布状況等調査の際に課題となった事項を改善し信頼性の高い効率的なデータ収集管理ができた。

(Appendix 3.5 参照)