

4 メッシュ型 LPWA によるモニタリング機器の機動的な展開試験

4.1 背景

東日本大震災や能登半島地震のような大規模な災害の場合、被災状況に応じて既設モニタリングポストを稼働させるのに必要な電力、通信のインフラだけでなく、モニタリングポスト自体の機能不全が起きることは十分想定される。能登半島地震においても石川県旭町局や富山県上余川局のようにモニタリングポスト設置地点の基礎部分に大きな影響が出ている。このような場合、代替のモニタリング機器の展開が必要であるが、先に述べた通り交通網が甚大な被害を受けた輪島・穴水・七尾地域で従来の可搬型モニタリングポストを運搬して設置することは大きな困難が伴う。

このような状況においては、過去の放射線安全規制研究戦略的推進事業 [11][12] で検討した発災直後の面的な放射線モニタリングの展開という考え方が有効になる。今回の事業で開発しているドローンへの搭載を想定した Spresense ベースの超小型 KURAMA-II はまさにそのような目的に用いるのに適したデバイスであり、昨年度までの委託事業でもメッシュ型 LPWA である ZETA や Wi-SUN FAN を活用した面的な放射線モニタリングの展開の有効性や活用法について検討してきた。設置や運用についてのノウハウの蓄積は必要であるものの、緊急時における機動的なモニタリングネットワーク構築や既設モニタリングネットワークのバックアップ回線としての活用に期待できることを明らかにし [13][6]、島根県では ZETA を活用した既設モニタリングポストのバックアップ回線の構築が始まっている [14]。

4.2 実施内容

昨年度までの委託事業で実施した島根県原子力環境センター付近での Wi-SUN FAN の運用試験の成果を踏まえ、より多彩な条件での実証試験を試みた。具体的には

- 大阪府熊取町（市街地および住宅街を想定）
- 福島県大熊町（緊急時の拠点～人流集積地点間の構築）
- 島根県松江市（過去の試験との比較検証）

の3箇所において10台程度のLPWA対応超小型KURAMA-IIによるモニタリングネットワーク構築を試みた。今回は特に緊急時の構築を想定した福島県大熊町について、事前計画の有効性を確認するための伝搬シミュレーションとその検証を行った。

4.3 大阪府熊取町における試験

大阪府熊取町の複合原子力科学研究所付近において、Wi-SUN FANによるモニタリングネットワークの構築試験を行なった。複合原子力科学研究所付近の地形は紀伊山地の山裾に広がるベッドタウンといくつかの工業施設等が点在するエリアで、比較的起伏に富む地域である（図11）。ここに、

複合原子力科学研究所を拠点とするモニタリングネットワークを構築する試験を行なった。

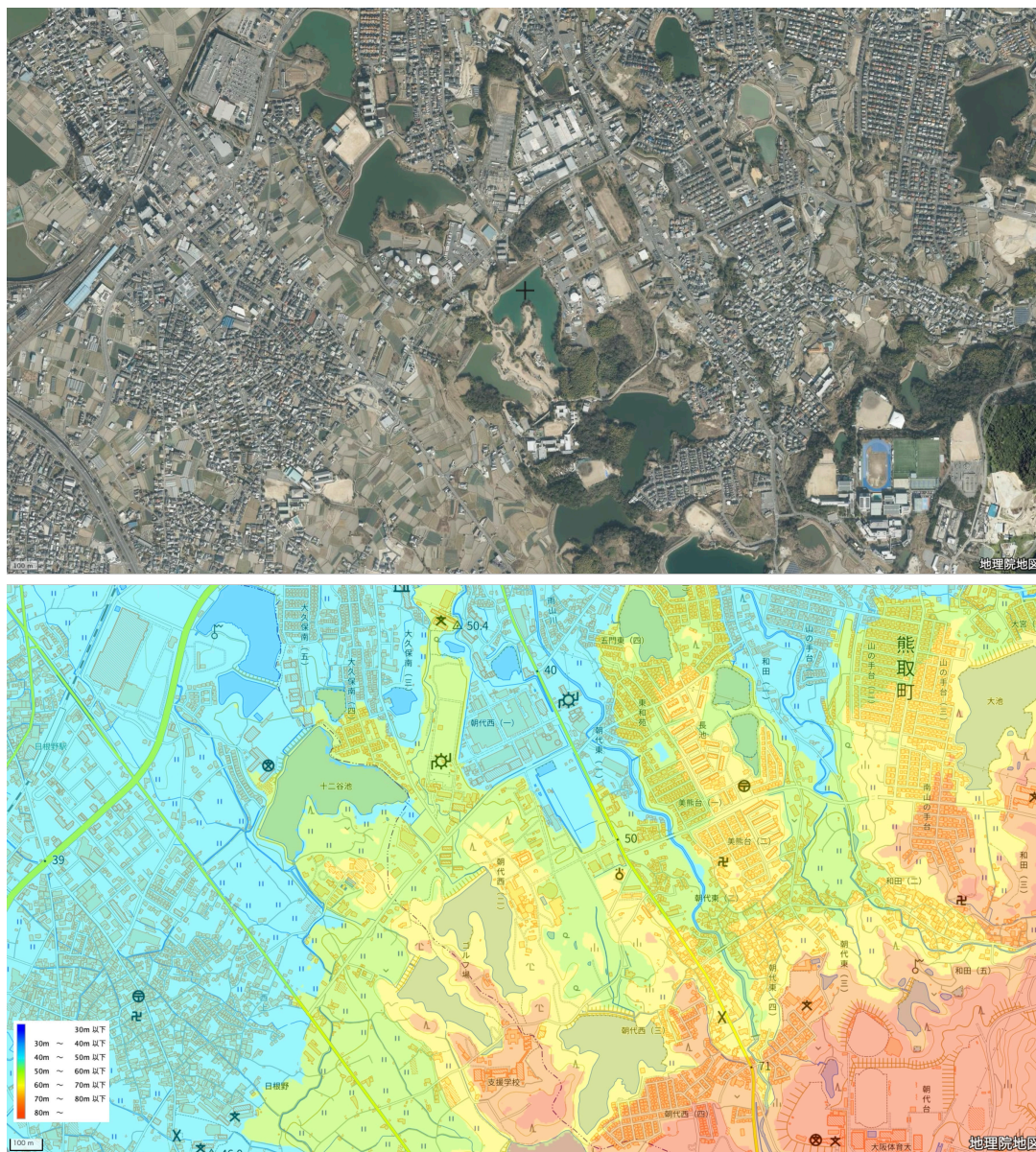


図 11 大阪府熊取町の複合原子力科学研究所付近の航空写真（上）と地形の様子（下：標高に応じた着色を行なっている）。紀伊山地の山地と谷地の入り組んだ起伏に富む一帯に広がるベッドタウンおよび工業施設の点在するエリアである。

熊取町内で構築したネットワークの概況を図 12 に示す。現実的な利用を想定し、研究所の管理する研究所内外のモニタリングポストを超小型 KURAMA-II で構成する Wi-SUN FAN のネットワークを活用して結ぶという想定でネットワークを構築した。所内は概ね第一研究棟屋上の中継局を介し

てつながるが、熊取町和田にあるモニタリングポストへは見通しが効かず、Wi-SUN FAN の特徴である多段の中継を活かした接続が必要となる。また、研究所の南側の朝代西 4 丁目方面も研究所敷地内の少し高くなって樹木が茂った場所があって研究棟屋上の中継局との直接通信は困難と見られる。これまでの島根県松江市での試験により、Wi-SUN FAN は見通しの良い場合には最大到達距離である約 1 km を超えて伝搬する一方、見通しが悪い場合には 100 m 程度でも伝搬が困難になる場合があることが判明している。そこで、拠点とする複合原子力科学研究所では地上高約 10 m の第一研究棟屋上に立てた高さ 2 m のポールの頂点に中継局（Wi-SUN FAN の Router）を設置してできるだけ広い範囲をカバーする一方、各地に設置する各超小型 KURAMA-II の地点間距離は近めに設定する方針をとった。屋上に設置した中継局の様子を図 13 に、中継局からの周囲の見通し状況を図 14 に示す。基地局（Wi-SUN FAN の Border Router）は第一研究棟 2 階の居室内に設置しており、すべての超小型 KURAMA-II はこの中継局を経由して基地局へ接続することになる。居室の基地局と屋上中継局の間は良好な通信が確立されており、RSSI 値も概ね $-65 \sim -75$ dB となっている。

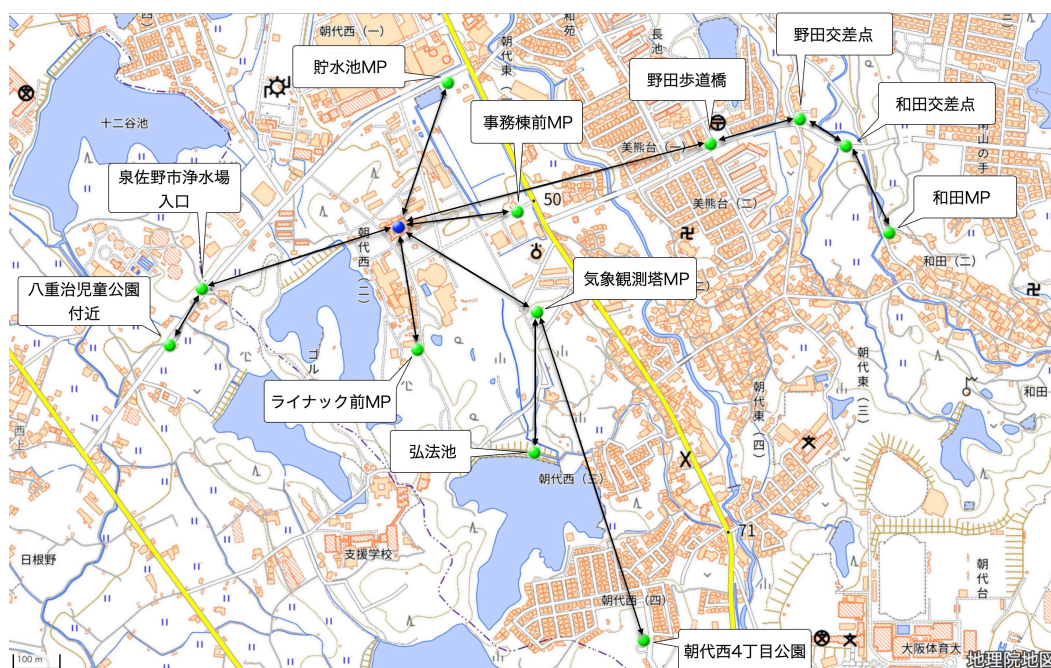


図 12 大阪府熊取町の複合原子力科学研究所周辺で構築したネットワークの概要。実際に超小型 KURAMA-II を設置したのは緑色の丸である。実線は想定した伝搬経路。

図 12 のネットワークは大きく分けて

1. 和田 MP へ向かうルート
2. 朝代西 4 丁目公園へ向かうルート
3. 八重治児童公園へ向かうルート



図 13 大阪府熊取町の複合原子力科学研究所屋上に設置した中継局の様子。地上高約 10 m の第一研究棟屋上に設置した 2 m の自立式ポールの頂点に設置されている。1/2 λ ダイポールアンテナを 2 本持っており空間ダイバーシティ方式により通信品質の改善を図っている。

となっており、第一研究棟屋上の中継局以降相互の経路は独立している。全てを同時に構築すると盗難や事故防止の見回りなどで人員が多数必要となることから、各経路ごとに独立に構築を試みた。



図 14 中継局設置箇所からの周囲を撮影したパノラマ写真。保安上の理由により一部加工修正されている。概ね屋上の中継局からは 200 m（北方向）～ 1.2 km（南方向）の範囲が見通せている状態である。

4.3.1 和田 MP へ向かうルート

この経路は研究所が熊取町和田に保有するモニタリングポストの代替として超小型 KURAMA-II を設置する想定である。実施に和田にあるモニタリングポスト建屋屋上に超小型 KURAMA-II を設置した様子を図 15 に、和田 MP から見た周囲の状況を図 16 に示す。第一研究棟屋上の中継局は直接目視ができない状況にあるため、中継局から野田歩道橋→野田交差点→和田交差点→和田 MP という経路で接続する計画をしたが、それでも和田 MP からは各設置予定箇所は直接の目視ができない状況にあった。



図 15 熊取町和田のモニタリングポスト建屋屋上に設置された超小型 KURAMA-II。

設置は基本的に上流から行い、最下流の和田 MP からのデータが確認できるかどうかで判定を行った。まず、野田歩道橋に超小型 KURAMA-II を設置した（図 17）。この歩道橋は第一研究棟屋上から約 670 m の距離にあるが目視可能である。起動後特に問題なく接続しており、RSSI 値も -81 dB と良好な値であった。



図 16 熊取町和田のモニタリングポスト建屋屋上からのパノラマ撮影。野田歩道橋は高台の団地建物で遮られて目視ができない。また、野田交差点は樹木や竹林、和田交差点は段丘が迫り出す形で遮られておりほぼ目視できない。第一研究棟の中継局は団地や戸建て住宅のある高台の向こうにあって目視はできない。



図 17 野田歩道橋に設置された超小型 KURAMA-II。歩道橋自体の地上高があるため、超小型 KURAMA-II に $1/2\lambda$ の垂直ダイポールアンテナを直結している。

現地で和田交差点付近から歩道橋が目視できるかできないかの微妙な位置（図 18）であったため、野田交差点への設置なしで直接和田交差点付近の超小型 KURAMA-II を設置した。しかし、野田歩道橋との接続自体が確立できなかった。結局野田交差点を設置することで、和田交差点付近もデータが確認できた。この時の RSSI 値は記録していないが、野田歩道橋～野田交差点及び野田交差点～和田交差点はそれぞれは目視可能かつ距離も 150 m と至近距離であったため、接続状態は良好であったと考えられる。最後に和田交差点から和田 MP への接続は、和田交差点側から野田交差点側へ少し動いた地点（図 12 に示している点）に来た時に接続が確立し、和田 MP からのデータがサーバまで届くようになった。これは和田交差点と和田 MP の間にある高台のせり出した裾野に見通しを遮られなくなった場所に設置できたためと考えられる。サーバ側で受信したデータは特にデータ欠損によるエラーも見られなかった。



図 18 和田交差点付近から野田交差点および野田歩道橋方面を見たところ。野田交差点は 150m ほどの距離かつ目視ができたが、交差点からの上り坂を登ったところにある野田歩道橋は直線距離が 300 m ほどであるものの、団地の立つ高台の法面にギリギリ遮られて見ることができない。

このように、和田 MP への経路は比較的容易に確立することができ、見通し距離であれば 600 m 以上離れていても良好に接続できた。また、和田 MP からのデータは 4 段の中継で基地局まで運ばれているが、特にデータの欠損も見られなかった。その一方、Wi-SUN FAN の最大到達距離より十分短い距離であっても見通しが効かない場合は中継点が必要になることも明らかとなった。そのため、現地での設置の際は隣り合う超小型 KURAMA-II が見通し範囲にあるように設置する方針をとるのが有効と思われる。

4.3.2 朝代西 4 丁目公園へ向かうルート

この経路は研究所南東側にある気象観測塔のモニタリングポストを経由して南の紀伊山地方面に海拔を上げながら伸びていくルートである。気象観測塔直下にあるモニタリングポストわきに超小型 KURAMA-II を設置した（図 19）。ここから南方面には途中の弘法池を囲むように住宅街ができしており、気象観測塔から 700 m ほどの距離で住宅地の最も高い場所に朝代西 4 丁目公園がある。この公園のジャングルジムに超小型 KURAMA-II を設置したが、気象観測塔上部は見えるもののモニタリングポストは密集する住宅に遮られて目視できない状態であった（図 20）。そのため、中継地点として、気象観測棟の超小型 KURAMA-II の設置箇所から 300 m の弘法池のほとりにも超小型 KURAMA-II を設置することとした。この位置からは第一研究棟の中継器や気象観測棟の超小型 KURAMA-II の設置箇所は樹木の枝葉で隠れて目視できない状態である（図 21）。

気象観測塔直下のモニタリングポストに設置した超小型 KURAMA-II は中継局と特に問題なく接続した。RSSI 値も -86 dB であった。また朝代西 4 丁目公園に設置した超小型 KURAMA-II は直接第一研究棟の中継器と接続していた。目視ができずかつ直線距離で 1 km 離れているにも関わらず RSSI は -88 dB であった。また弘法池に設置した超小型 KURAMA-II も直接第一研究棟の中継器と接続していた。この時 RSSI は -91 dB であった。



図 19 気象観測塔の直下にあるモニタリングポスト付近に設置した超小型 KURAMA-II。第一研究棟屋上が目視できる位置である。



図 20 朝代西 4 丁目公園の超小型 KURAMA-II 設置箇所から研究所方面を眺めたところ。気象観測塔の上部は目視できるが、下部は周辺の住宅によって遮られてしまっているのがわかる。第一研究棟方面は樹木及び住宅によって遮られており目視できない。



図 21 弘法池ほとりに設置した超小型 KURAMA-II。設置箇所からは研究所の研究炉等が見えるものの樹木の枝葉によって見通しができない場合がある。

4.3.3 八重治児童公園へ向かうルート

研究所南西側には坊主池を挟んだゴルフ場敷地内や 1.3 km 先の日根野中学校屋上に研究所管理のモニタリングポストが設置されている。これらのモニタリングポスト設置箇所への立入は所有者等の許可が必要で立ち入りができなかったことから、複合原子力科学研究所北側の東和苑西交差点から日根野方向に向かって伸びる道路沿いに八重治児童公園方面に向かうルートで接続を確立できるか試験を行うこととした。特に超小型 KURAMA-II を設置した泉佐野市浄水場付近は坂の頂となっており、頂から約 900 m 先の日根野中学校方向に良好な見晴らしが得られる。ここに超小型 KURAMA-II を設置することで日根野中学校への経路確立の可能性が高まると考えられる。

まず、第一研究棟からほぼ西向きに約 400 m の位置にある泉佐野市浄水場入口付近に超小型 KURAMA-II を設置した（図 22）。この地点から研究所の研究炉他が直接見通せるものの、第一研究棟は間にある樹木によって遮られて直接見ることができない。図 13 の西側方面を見ればわかる通り、第一研究棟からも浄水場のタンクなどは見えるものの入口は樹木に遮られて目視することはできない。この地点でも超小型 KURAMA-II は接続を確立し、データの流れも特に問題はなかった。そこで、この浄水場入り口の超小型 KURAMA-II を経由して、この道路沿いでさらに遠方となるローソン日根野南店付近での接続を試みた。浄水場入り口の超小型 KURAMA-II は視認できたものの接続が確立できなかった。そこで浄水場入り口の超小型 KURAMA-II へ近づく形で移動したところ、浄水場入り口から 150 m 付近のところで接続が確立した。接続確立後のデータ転送は行われており機能的に問題は見られなかった。接続時の挙動が他の地点での接続状況とは少し異なることから、この地点で使用した超小型 KURAMA-II では外部アンテナ接続部分に不具合があって、利得が低い基板上のチップアンテナによる通信となっていた可能性がある。

4.3.4 熊取町試験のまとめ

熊取町の試験で最終的に確立したネットワークを図 23 に示す。第一研究棟屋上から近距離の見通し範囲内の伝搬である研究所内各地点、機材トラブルの可能性のある八重治児童公園方面を除いて検討する。まず、和田 MP 方面では概ね想定通りのネットワーク構築ができ、4 段の超小型 KURAMA-II の中継を介して接続を確立した。一方、朝代西 4 丁目公園方面では当初想定した気象観測塔の超小型 KURAMA-II による中継ではなく、第一研究棟屋上との直接通信でネットワークが確立された。ここでは、これらの 2 つの場合について、なぜこのようなネットワーク構築に至ったかを検討する。

まず、和田 MP 方面の経路について検討する。図 24 は第一研究棟から和田 MP までで想定される経路に沿った地形の断面図である。今回接続が確立できた経路（図 24 の上側）では第一研究棟から野田歩道橋までは谷を跨ぐ形になり、障害物の少ない見通しの良い経路で良好な接続となることが期待でき、実際に良好な接続を実現している。また、野田歩道橋以降も経路間に伝搬を遮るような部分がないこともわかる。最後の和田 MP 直前にある高い部分は和田 MP 付近の法面に相当しており、和田交差点から野田交差点より超小型 KURAMA-II を移動させたことで通信が確立したのはこの法面を回避することに相当していると考えられる。また、野田歩道橋から和田 MP を直線で結んだ経路



図 22 泉佐野市浄水場入り口に設置された超小型 KURAMA-II。

(図 24 の下側) の場合、野田歩道橋の直後(第一研究棟から 700 ～ 800 m 付近)に高台があり和田 MP との間の伝搬を遮る形になる。さらにこの高台には団地があるため伝搬はさらに難しくなったと考えられる。このように多段接続が可能な Wi-SUN FAN の特徴が複雑な地形のエリア構築に有効であることが確認できた。

次に朝代西 4 丁目公園について考える。図 20 に示した通り朝代西 4 丁目公園からは家屋や樹木に遮られて研究所方面の見通しが効かず、気象観測塔の上側が確認できるのみであった。にも関わらず接続経路が確立された理由を和田 MP と同様に地形から考える。第一研究棟から朝代西 4 丁目公園までの伝搬経路における地形の断面図を図 25 に示す。このように地形的には何も遮るものがない状態であり、障害物である家屋や樹木の状況次第であると考えられる。一般的な 2 階建一軒家の場合、屋根の一番高いところで 7 ～ 9 m とされている。そうすると朝代西公園すぐの住宅の影響が小さけれ

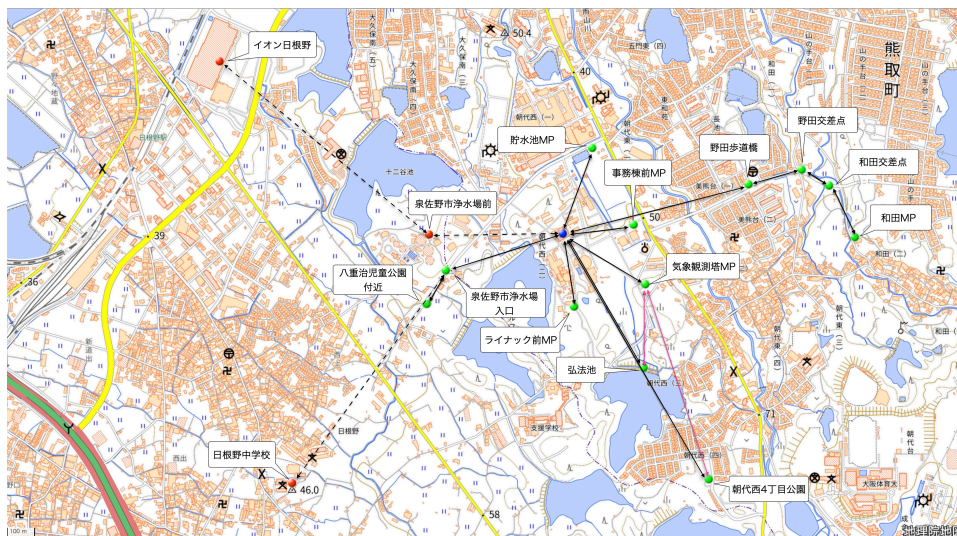


図 23 熊取町での試験で最終的に確立したネットワーク。黒実線が最終的な経路、マゼンダは当初想定したが実際には使われなかった経路、黒点線は後述する今回の結果を踏まえた上で想定される経路。

ば、あとは良好な伝搬になると考えられる。弘法池についてもちょうど池の堤の上に設置しており、周囲に比べて高い場所となる。樹木についても電波の減衰を起こしうる水分を含む枝や葉がどの程度茂っているかで影響が大きく左右される。現在は冬季であり比較的枝や葉が少なかったことが幸いしている可能性がある。そのため、夏季になると直接接続が困難となり見通しのきく気象観測塔直下の超小型 KURAMA-II を経由するルートに変わる可能性がある。

以上の結果から、

- 設置地点間で良い見通しが確保できるかどうかは通信確立判定の良い目安になる
- 谷を挟んだ頂のような場所同士であれば良好な通信が確立できる
- 920 MHz 帯という高い周波数のため、見通しが効かない条件では著しく伝搬距離が短くなる場合がある
- 地形ではなく樹木や家屋が見通しの支障になる場合は良い通信が確立できる場合がある

と考えられる。

以上を踏まえ、例えば研究所から西北西～北西に 1.5 km ほど離れた人口集積区域である日根野駅周辺の方面のモニタリングを行う場合を考える。図 23 の泉佐野市浄水場前では、図 26 の上側の画像のように研究所方向は樹木によって遮られているだけである。実際、図 14 で確認できる通り、第一研究棟屋上から西側を見た時に泉佐野市浄水場前を目視することができる。また、図 26 の下側の画像のように、1 km 離れた日根野駅やイオン日根野方面への見通しも良い。そこで、泉佐野市浄水場

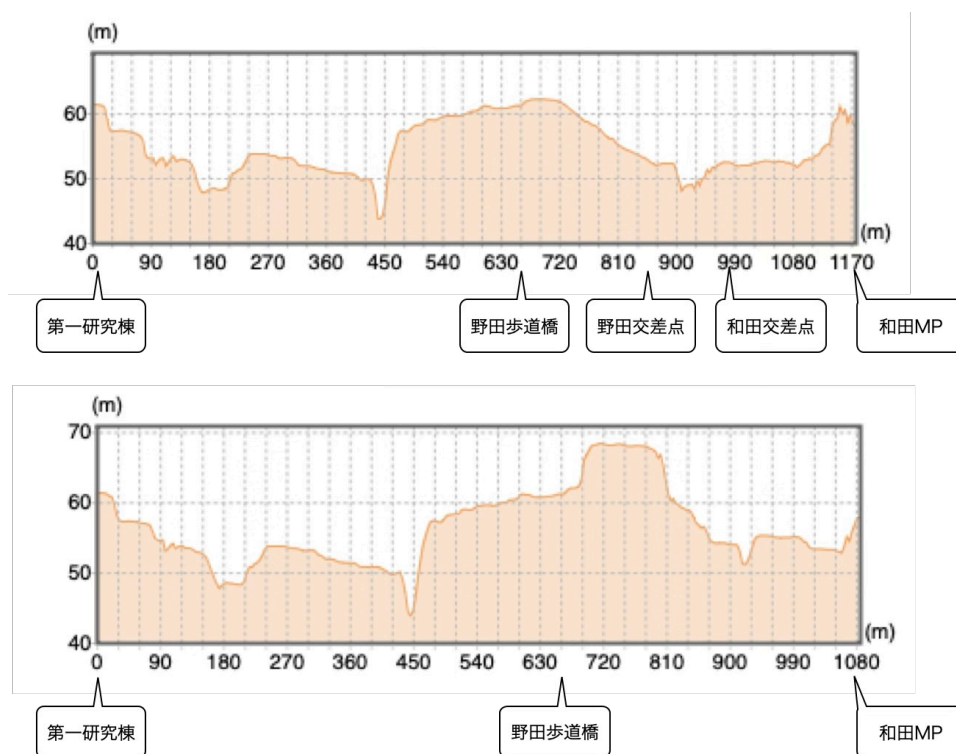


図 24 第一研究棟から和田 MP までの地形の断面図。確立された接続経路（上）の場合、野田歩道橋がほぼ最も高い地点である一方、野田歩道橋から和田 MP を直線で結ぶ短絡ルート（下）の場合、野田歩道橋直後の高台（ここに団地が建てられている）によって遮られるのがわかる。

前に超小型 KURAMA-II を設置し、図 23 中の点線で示すような経路の確立を試みる価値があると考えられる。同様に、研究所の管理するモニタリングポストが屋上に設置されている日根野中学校についても、中学校からちょうど 1 km の距離にある泉佐野市浄水場入口付近から目視できることがわかる（図 27）。日根野中学校屋上は周囲の建物に比べても高く、ちょうど第一研究棟と野田歩道橋のような関係になると期待できる。

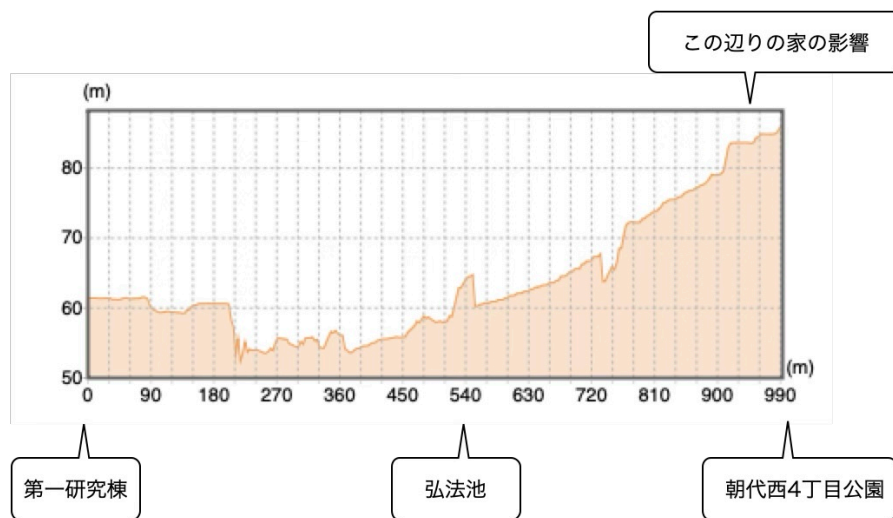


図 25 第一研究棟から朝代西 4 丁目公園までの地形の断面図。弘法池の設置地点と朝代西 4 丁目公園の設置箇所はほぼ一直線に並んでいる。朝代西 4 丁目公園は付近の家の影響さえかわせれば後は第一研究棟まで良好な伝搬が期待できると考えられる。弘法池も設置箇所が周囲より高く、周辺の樹木の影響しだいで良好に伝搬する可能性がある。



図 26 Google ストリートビューによる泉佐野市浄水場前から研究所方向を見た時（上）と、日根野駅方向を見た時（下）。研究所へは良い見通しが得られてもおかしくないが、樹木により遮られている。日根野駅方面を見た場合、1 km 離れた駅前のマンション群やイオン日根野の看板がよく見えることがわかる。



図 27 Google ストリートビューによる泉佐野市浄水場入口から日根野中学校方面を見た時。ちょうど道路の延長上に中学校があるため、見通しが非常に良い状態が確保されることになる。