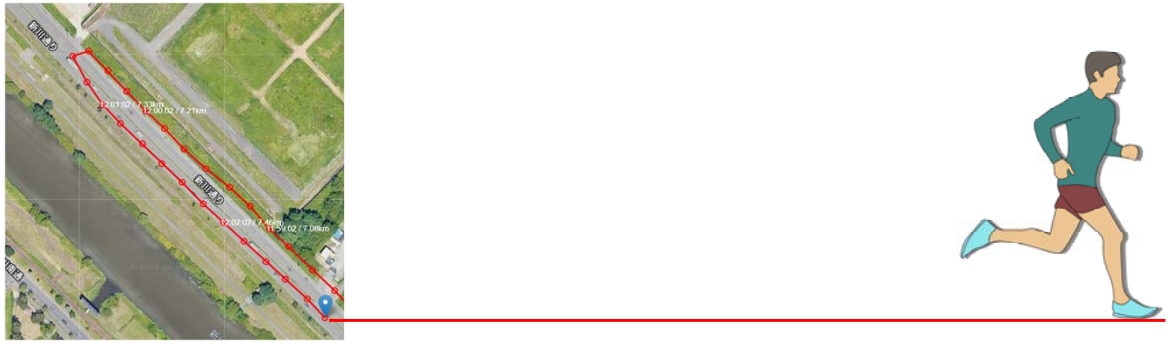
北海道マラソン2024
実証実験報告書

2024.9.17

北海道リージョナルリサーチ　CPS研究室
野口　孝文,　増山　顕成,　田中　譲

2024年北海道マラソンにおいて，マラソンランナーの走行軌跡を準リアルタイムで送信する実験を行ったことについて報告する．2024年は，端末から送信するデータのフォーマット（2023年に用いたフォーマットの端末1台を含む）および配信システムを変更している．また，ブラウザ表示およびブラウザからの表示設定変更も可能にした．



実験の概要

- ELTRES端末を用いたマラソン全区間の走行軌跡配送実験
- 北海道マラソン2024
  - 日時：2024年8月25日8：30～14：30
  - 走者：A氏, B氏, C氏
- 送信データフォーマット
  - A氏, C氏の携帯する端末：緯度経度を近似的に直行していると考えて，XY直行座標に変換することなく直接六角形格子座標に変換
  - B氏の携帯する端末：緯度経度をXY座標に変換後六角形格子座標に変換

出典：https://hokkaido-marathon.com/course/

ELTRESシステム

- ソニーが開発し欧州電気通信標準化機構で標準化されたLPWA無線規格
- 920MHz帯を用いたモジュール
- 送信電力は20mWの特定省電力
- 100km以上の通信が可能
- 1分間にペイロード128bitと限られたデータを送信

スライド電源スイッチ

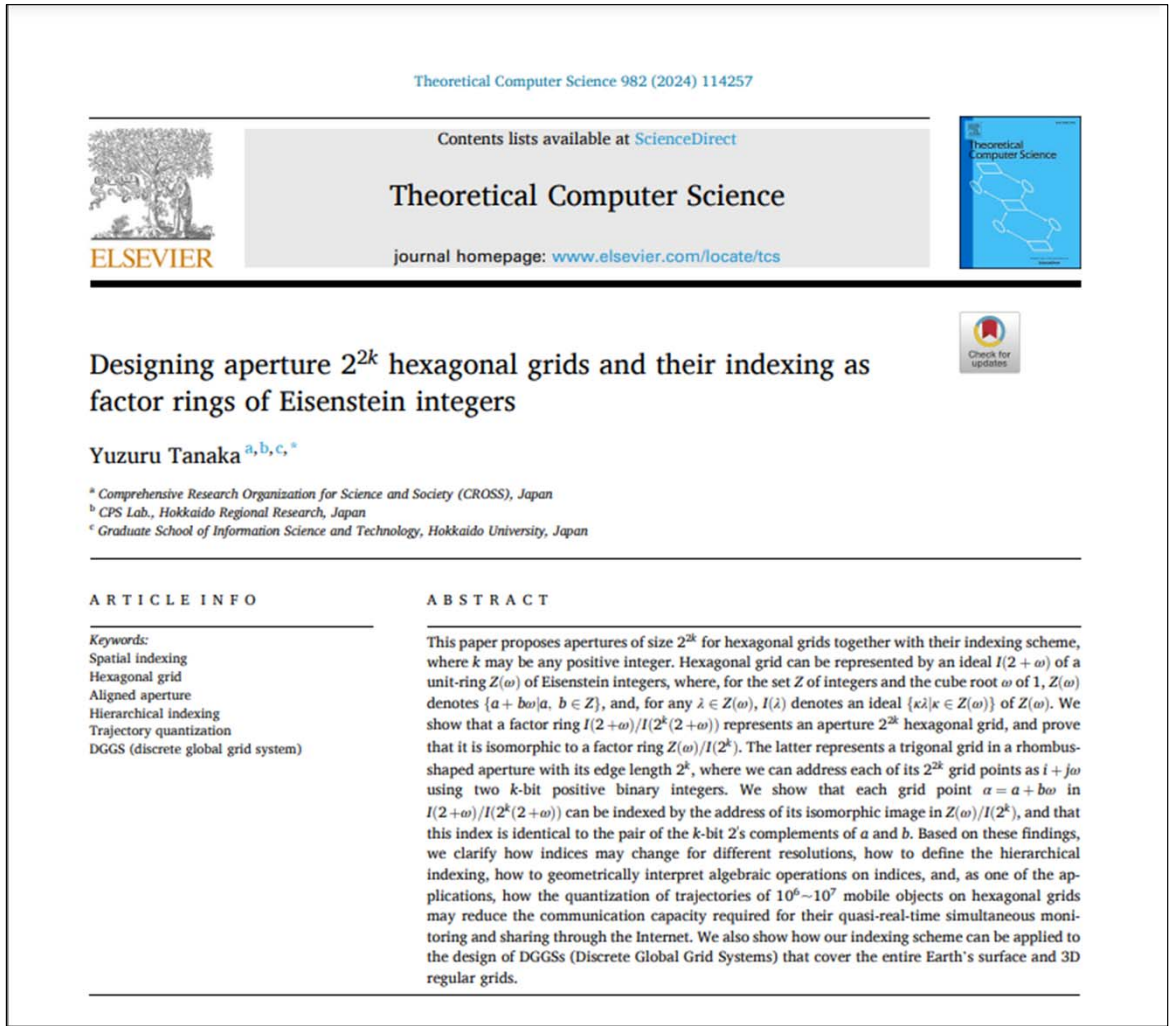
ELTRES端末（36ICT社製）
2種類の電源投入方法採用（左写真）
10cm×6cm×1.5cm
80g（単4×3電池込み）

リードスイッチ

六角形格子による空間量子化理論

Yuzuru Tanaka, Designing aperture 2^{2k} hexagonal grids and their indexing as factor rings of Eisenstein integers, Theoretical Computer Science, Volume 982, 8 January 2024, 114257

https://authors.elsevier.com/sd/article/S0304-3975(23)00570-4



Theoretical Computer Science 982 (2024) 114257

Contents lists available at ScienceDirect

Theoretical Computer Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/tcs

Designing aperture 2^{2k} hexagonal grids and their indexing as factor rings of Eisenstein integers

Yuzuru Tanaka [a,b,c,*]

[a] Comprehensive Research Organization for Science and Society (CROSS), Japan
[b] CPS Lab., Hokkaido Regional Research, Japan
[c] Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:
Spatial indexing
Hexagonal grid
Aligned aperture
Hierarchical indexing
Trajectory quantization
DGGS (discrete global grid system)

ABSTRACT

This paper proposes apertures of size 2^{2k} for hexagonal grids together with their indexing scheme, where k may be any positive integer. Hexagonal grid can be represented by an ideal $I(2+\omega)$ of a unit-ring $Z(\omega)$ of Eisenstein integers, where, for the set Z of integers and the cube root ω of 1, $Z(\omega)$ denotes $\{a+b\omega | a,\ b \in Z\}$, and, for any $\lambda \in Z(\omega)$, $I(\lambda)$ denotes an ideal $\{\kappa\lambda | \kappa \in Z(\omega)\}$ of $Z(\omega)$. We show that a factor ring $I(2+\omega)/I(2^k(2+\omega))$ represents an aperture 2^{2k} hexagonal grid, and prove that it is isomorphic to a factor ring $Z(\omega)/I(2^k)$. The latter represents a trigonal grid in a rhombus-shaped aperture with its edge length 2^k, where we can address each of its 2^{2k} grid points as $i+j\omega$ using two k-bit positive binary integers. We show that each grid point $\alpha = a+b\omega$ in $I(2+\omega)/I(2^k(2+\omega))$ can be indexed by the address of its isomorphic image in $Z(\omega)/I(2^k)$, and that this index is identical to the pair of the k-bit 2's complements of a and b. Based on these findings, we clarify how indices may change for different resolutions, how to define the hierarchical indexing, how to geometrically interpret algebraic operations on indices, and, as one of the applications, how the quantization of trajectories of $10^6 \sim 10^7$ mobile objects on hexagonal grids may reduce the communication capacity required for their quasi-real-time simultaneous monitoring and sharing through the Internet. We also show how our indexing scheme can be applied to the design of DGGSs (Discrete Global Grid Systems) that cover the entire Earth's surface and 3D regular grids.

送信データフォーマット

北海道マラソン2024で使用したデータフォーマットについて説明する．2023年は，GNSSの測位データを北緯30°東経138°を基点とするXY座標に変換した後，六角形格子に変換して送信し，それを受信側でXY座標に復元後緯度経度データに復元し地図データに表示していた．2024年はXY座標に変換することなく，GNSSの測位データを度表示に変換した後少数以下5桁まで（およそ1mの精度）を直接六角形格子に変換して送信し，受信側で緯度経度データに復元し地図データに表示している．

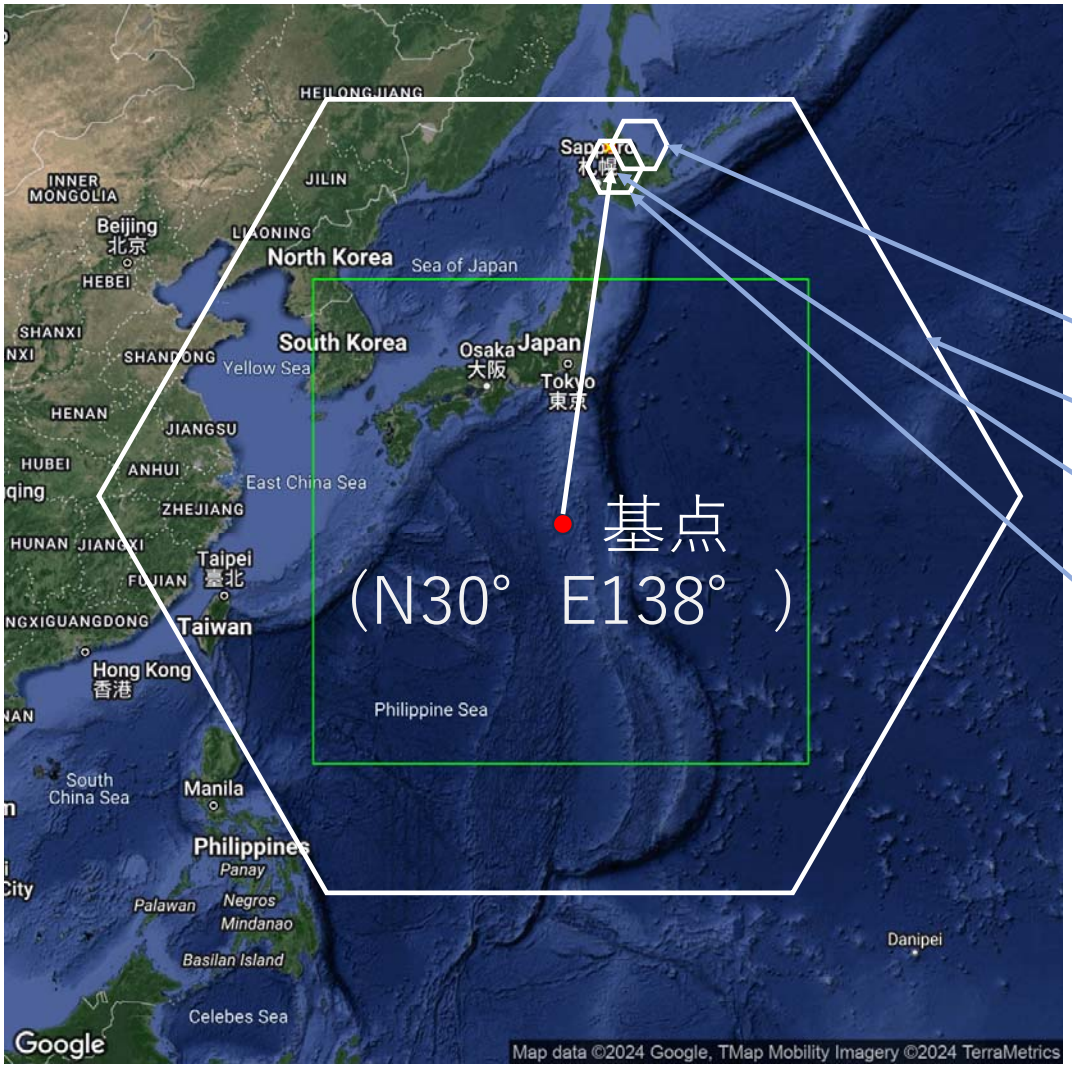
送信データフォーマットは下に示すような128bitで，先頭から位置の点数を表すモードに4bit，基点からの差分で表した初期位置に42bit，位置の点数－1点の位置の差分に残りのbit，という割り当てで構成している．

北海道マラソン2024では，B氏が2023年と同じ送信機を使用し，A氏とC氏がXY座標への変換をしない送信機を使用して実験を行った．本報告では，主にA氏，C氏の計測結果について示す．

次ページに六角形格子による移動軌跡表示の様子を示す．

0	1	2	3	4	5	…	23	24	25	26	…	44	45	46	47	…	m_1	m_2	…	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	…	127	128	129	120	121	122	123	124	125	124	125	126	127
m	m	m	m	a_0	a_1	…	a_{19}	a_{20}	b_0	b_1	…	b_{19}	b_{20}	a_0	a_1	…	b_0	b_1	…							…										0	0	0	0

484f1bdc0c5402dd3d0bf837c401b400　　送信データ例（左）とフォーマット（上）



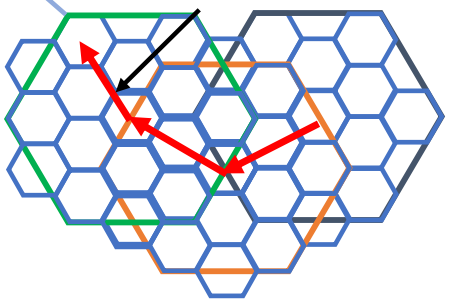
基点（北緯30°　東経138°　）を決め，初期位置に42bit割り当て，その後の位置を差分にして4bitから16bit割り当てている

口径2^4から口径2^{16}

口径2^{42}

初期位置を基点との差分(42bit)で表す

移動軌跡



サンプル点間の変位分が左図の各矢印で表されている．各矢印の始点に原点を持つ小口径の六角形格子における矢印の終点座標でこの変位が表され，その座標に対応するインデクスで変位がコーディングされる．

1分間の初期位置を除く計測値は，すべての隣接する計測点同士の差分を含むことができる最小の同一口径で表現している

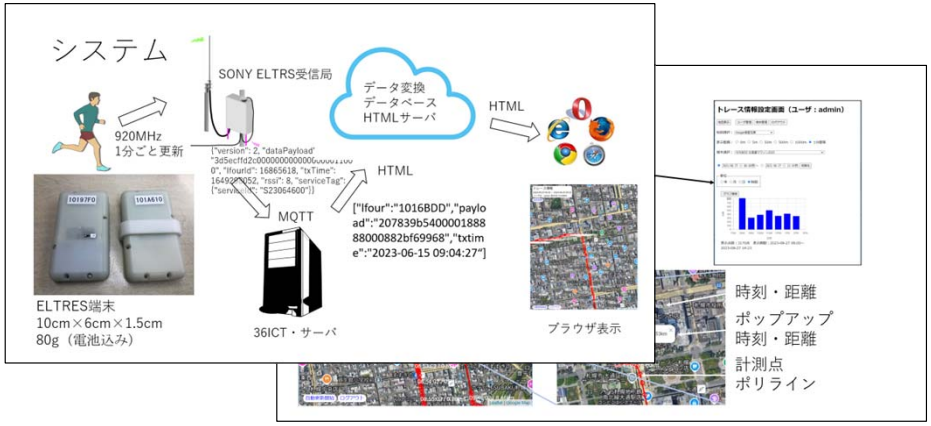
緯度経度を直接六角形格子データに変換した時の特性

GNSSの測位データを度表示に変換した後直接六角形格子に変換して送信し，受信側で緯度経度データに復元したときの特性について示す．（本実証実験では，GNSSの測位データを角度データに変換したときの最下位桁を切り捨てている）

k	2	3	4	8
口径（2^{2k}）	16	64	256	65536
データ点数／分	20	12	10	6
サンプリングタイム[秒]	3	5	6	10
緯度方向最大速度 経度方向最大速度　N43°　[km/h]	2.66 1.95	4.80 3.51	9.32 6.82	101 74.2
緯度方向誤差 経度方向誤差　N43°　[m]	1.11 0.81	1.11 0.81	1.11 0.81	1.11 0.81
必要ビット数	122	118	100	126

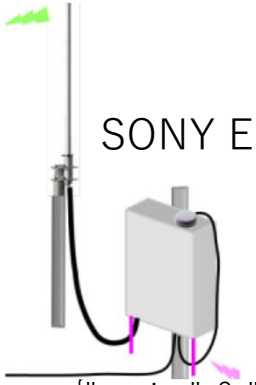
マラソンデータ配送システム

2024年のマラソンデータ配送では，受信データの変換から走行軌跡データの作成をすべてクラウド上で行っている．また，クラウド上にデータベースを構築して，ブラウザから設定した端末番号や表示範囲に対応してデータを配送できるようにしている．クラウド上の処理システムは，ユーザからの要求に対しデータベースから必要なデータを取り出し，地図にマッピングしている．データベースにないときには，36ICT・サーバからデータを読み込みデータベースのデータを更新している．システムとブラウザ表示を次ページとその次のページに示す．



システム

920MHz
1分ごと更新

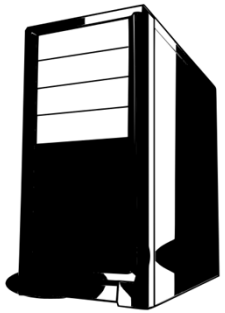


SONY ELTRS受信局

{"version": 2, "dataPayload'
"3d5ecffd2c0000000000000000001100
0", "lfourId": 16865618, "txTime":
1649298052, "rssi": 8, "serviceTag":
{"serviceId": "S23064600"}}

ELTRES端末
10cm×6cm×1.5cm
80g（電池込み）

MQTT



36ICT・サーバ

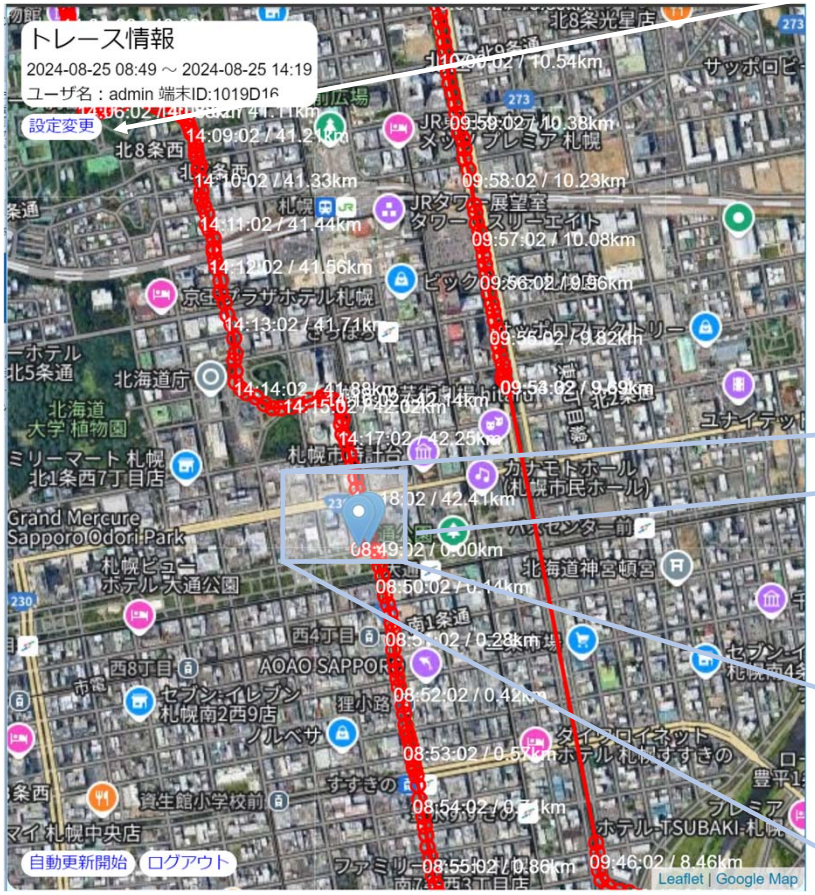
HTML

["lfour":"1016BDD","paylo
ad":"207839b5400001888
88000882bf69968","txtim
e":"2023-06-15 09:04:27“]

HTML

ブラウザ表示

ブラウザ表示



設定変更ボタン

設定変更画面

時刻・距離

ポップアップ
時刻・距離

計測点
ポリライン

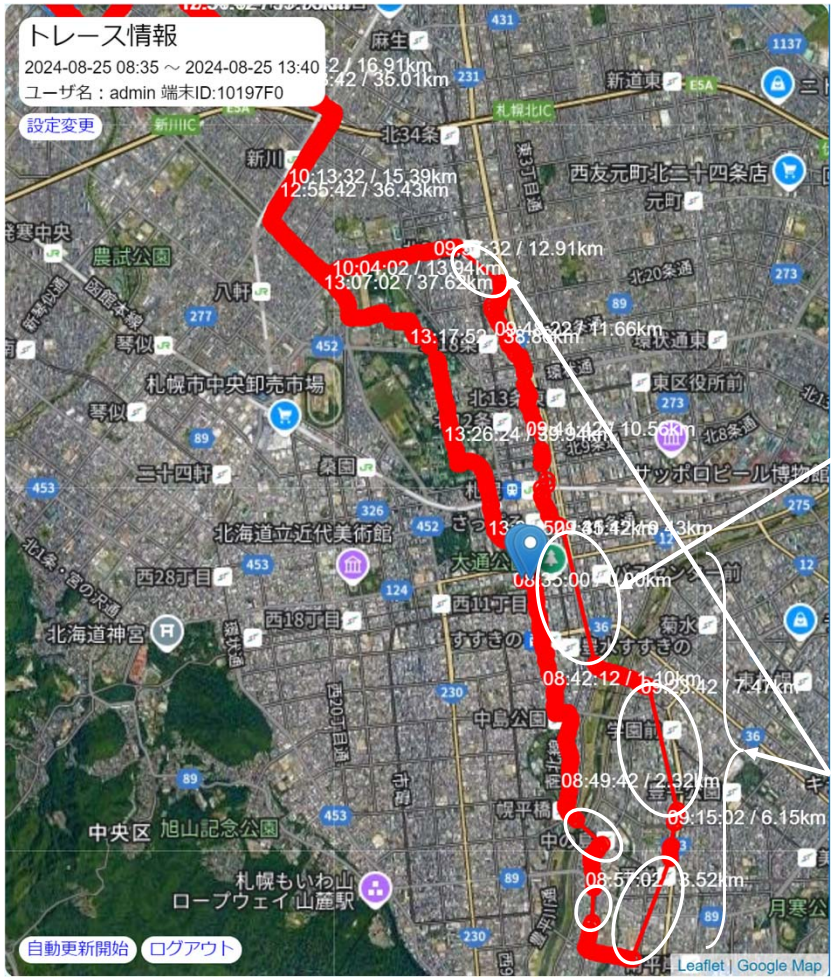
2024北海道マラソン

- 2024年8月25日（日）8:30(45)スタート
- 定員20,000人
- コース：日本陸上競技連盟/公認コース、ワールドアスレティックス・AIMS/認証
  - 大通西4丁目（駅前通） – すすきの – 中島公園 – 平岸通 – 創成トンネル – 創成川通 – 宮の森・北24条通 – 新川通（折り返し） – 北海道大学 – 北海道庁（赤れんが） – 駅前通 – 大通西4丁目（駅前通）コース
- シューズに取り付けたRFIDタグによる位置計測(5km)

出典：https://hokkaido-marathon.com/course/

B氏使用端末のデータ欠落

　B氏の走行データを右に示す．図にみられるように受信ができていない箇所が多くみられた．

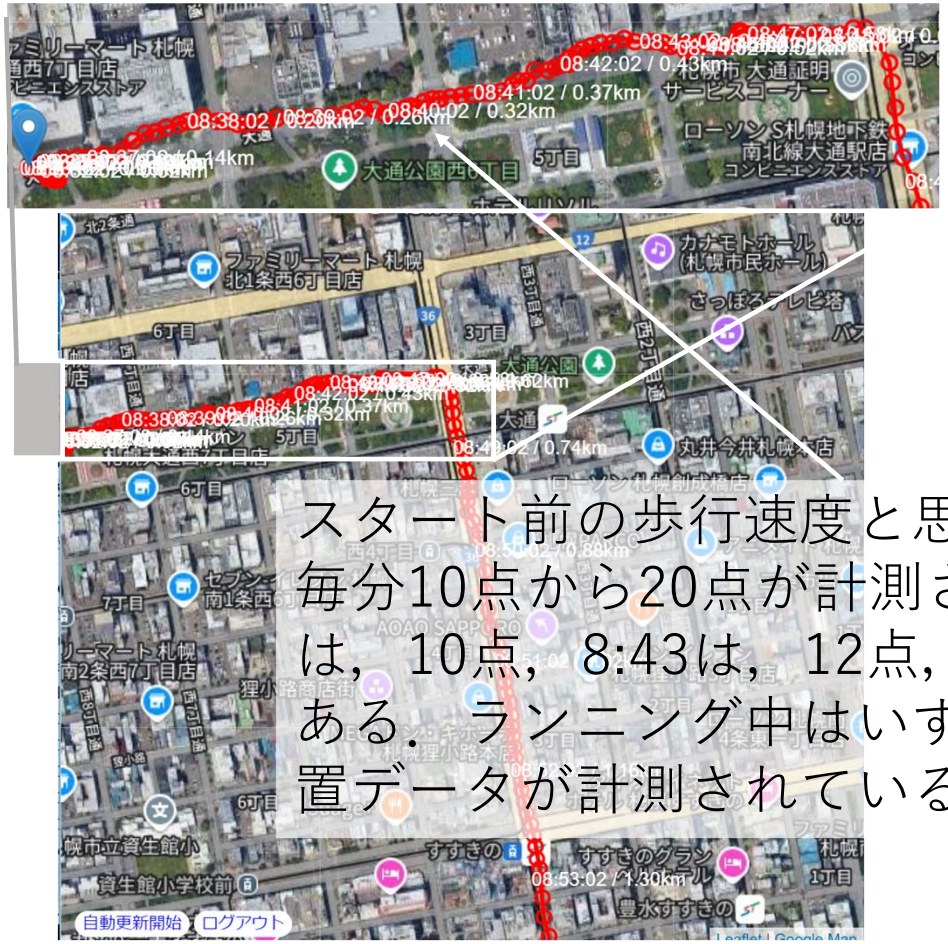


創成トンネルによる欠落

データ欠落

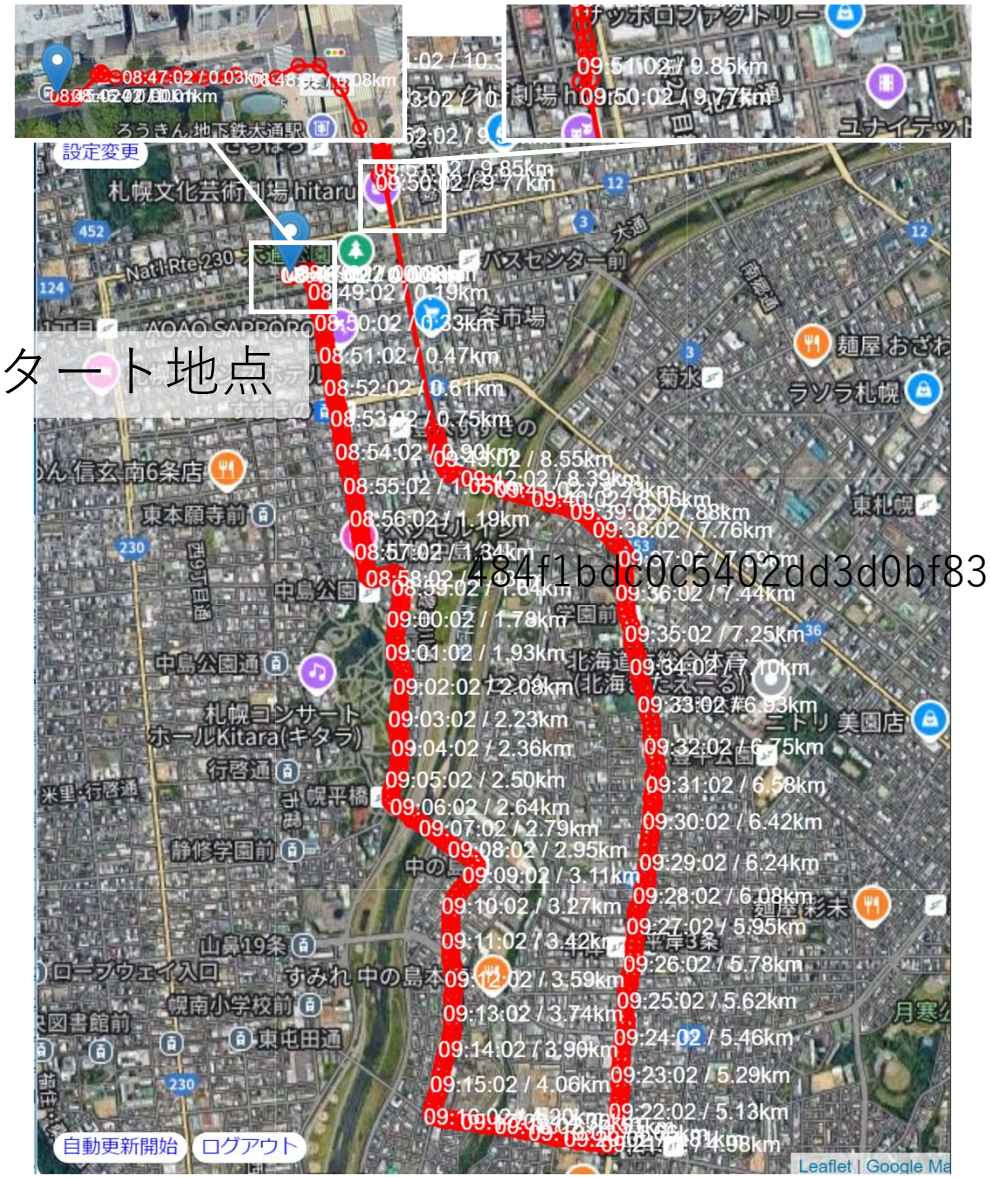
ブラウザ表示した走行記録

A氏



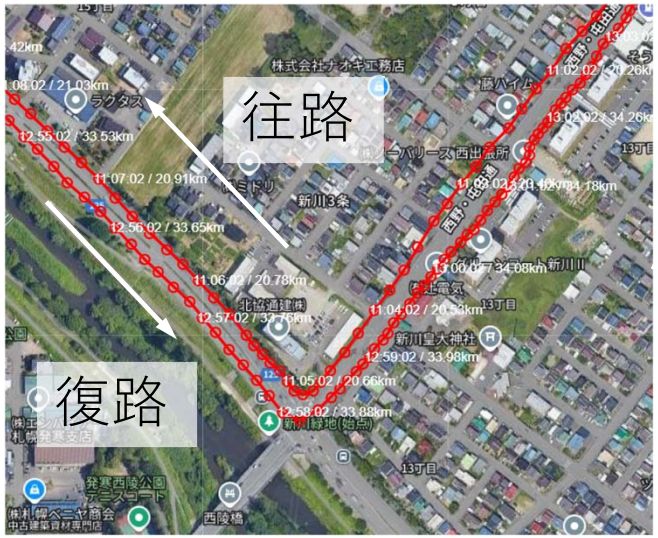
C氏

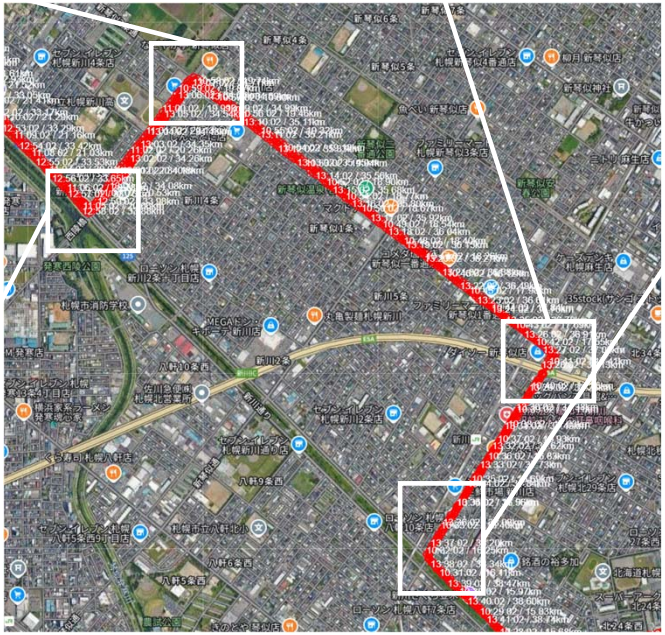
スタート前の歩行速度と思われる位置では，毎分10点から20点が計測されている．8:38は，10点，8:43は，12点，　8:45は，20点である．ランニング中はいずれも毎分6点の位置データが計測されている．



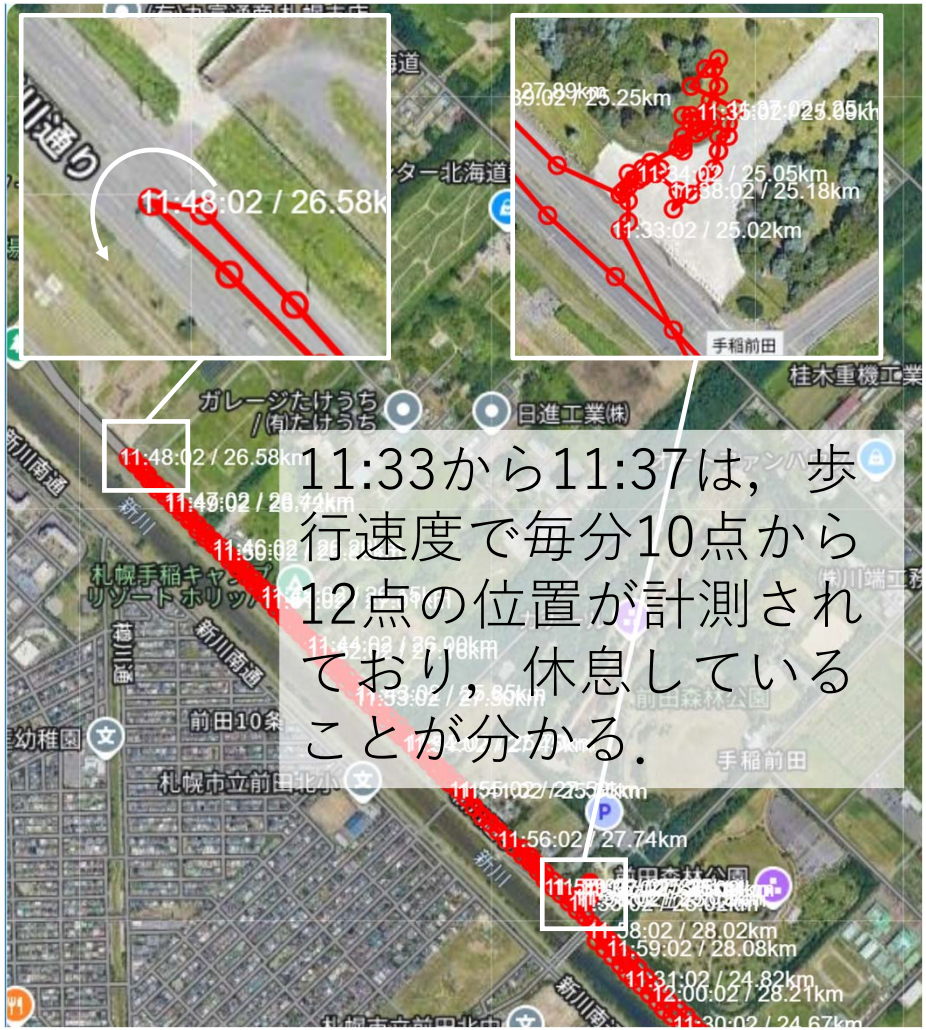
484f1bdc0c5402dd3d0bf837c401b400

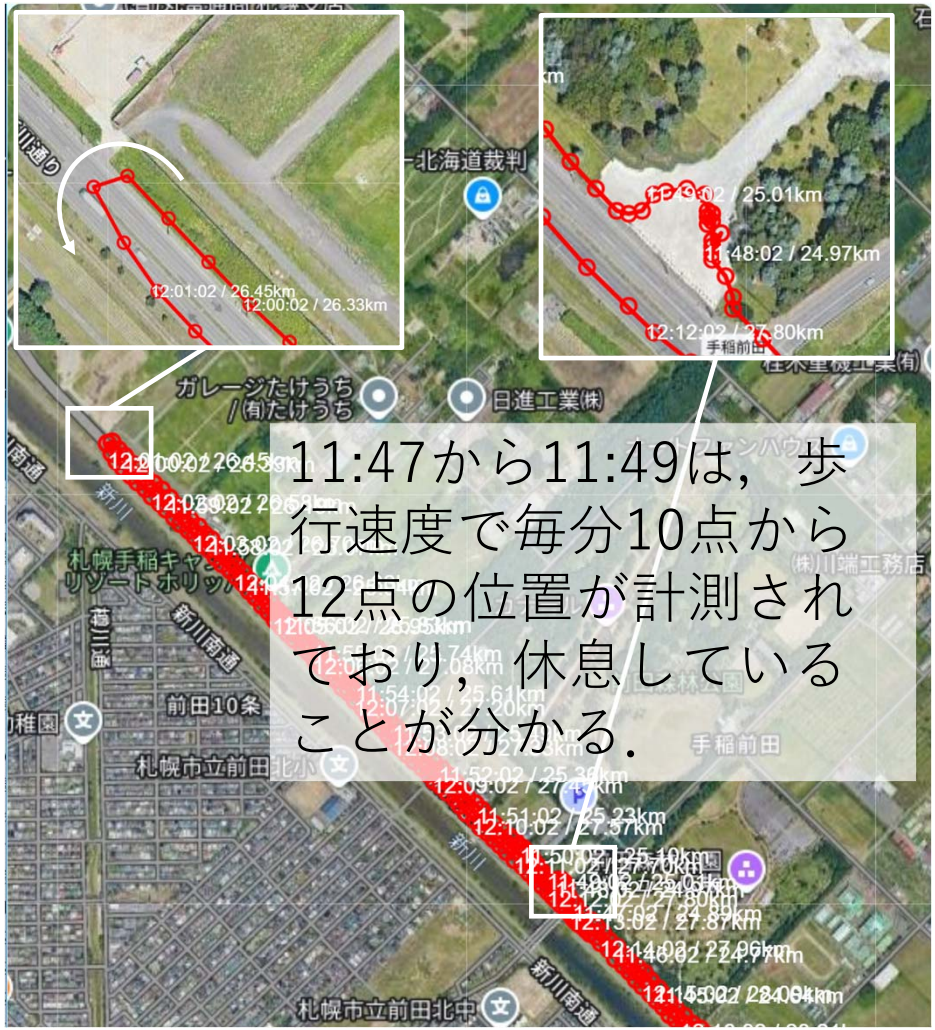
コーナー付近における往路と復路の様子（C氏）

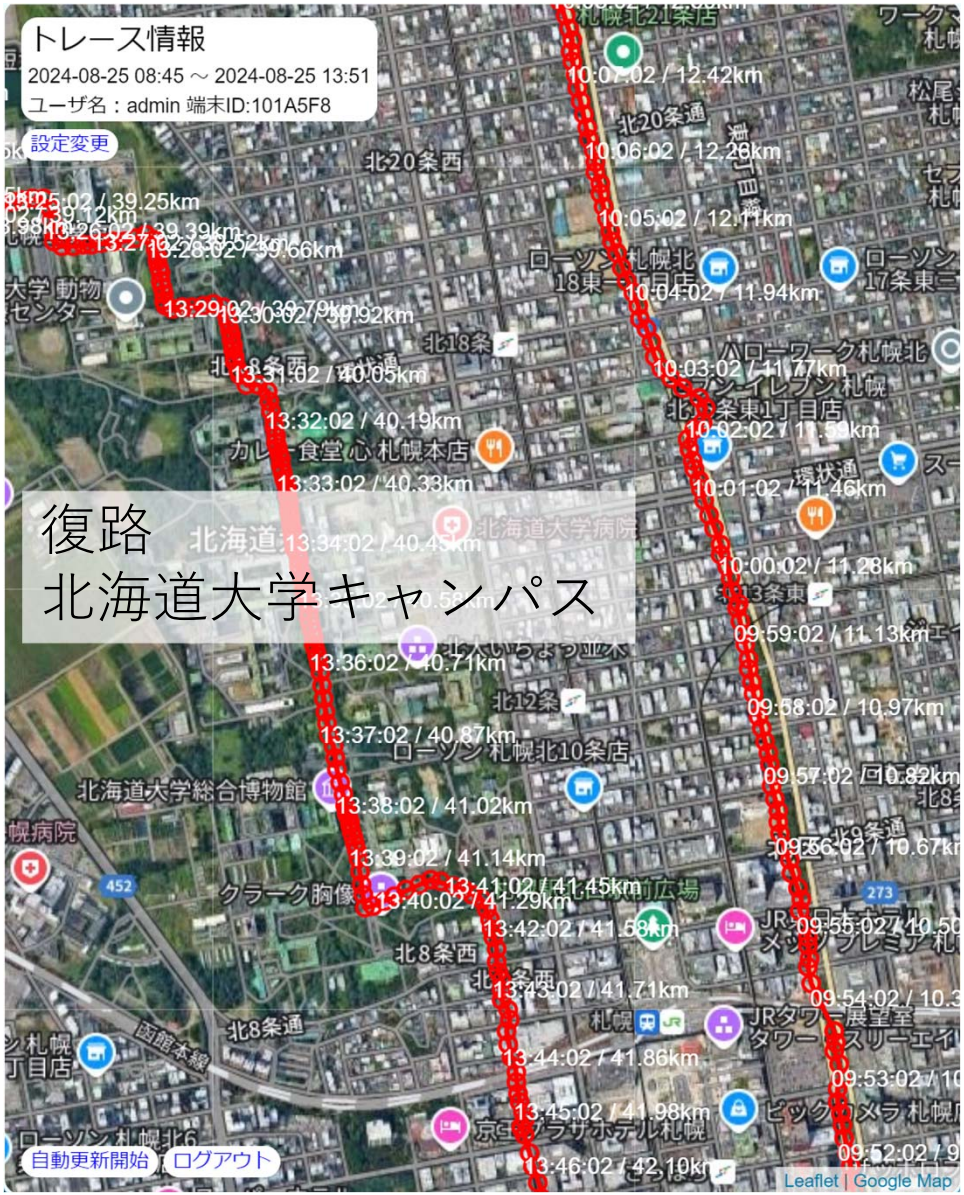


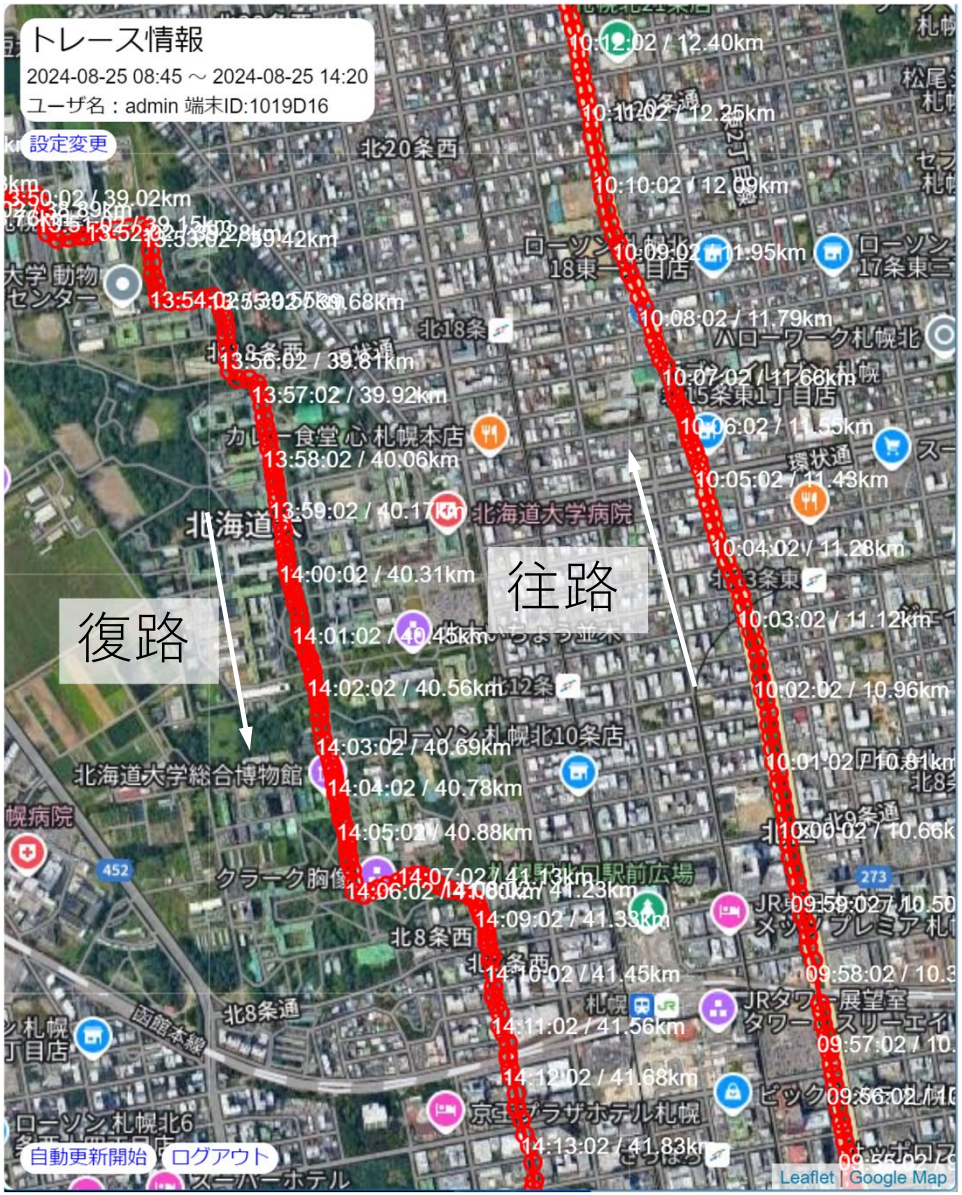


途中給水地点と25km折り返し地点



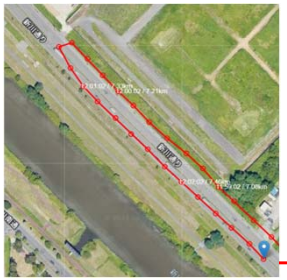



トレース情報
2024-08-25 08:45 ～ 2024-08-25 13:51
ユーザ名：admin 端末ID:101A5F8
設定変更
復路
北海道大学キャンパス
自動更新開始
ログアウト
Leaflet | Google Map


トレース情報
2024-08-25 08:45 ～ 2024-08-25 14:20
ユーザ名：admin 端末ID:1019D16
設定変更
復路
往路
自動更新開始
ログアウト
Leaflet | Google Map

A氏：スタートがおよそ8:48，ゴールが13:52でシステムの積算距離は42.88kmとなっている

C氏：スタートがおよそ8:49，ゴールが14:19でシステムの積算距離は42.55kmとなっている



まとめ

SONYのELTRES LPWAサービスを用い，36ictが開発したELTRES端末に，当研究室が独自開発した六角形格子による位置の離散化コーディング法を用いたプログラムを搭載し，北海道マラソンの走行軌跡を準リアルタイムで取得する実証実験を行った．2024年の実証実験は2023年に続き2回目になる．このプログラムを搭載した端末は，一定時間間隔で得た位置情報を圧縮して，6点から20点の位置情報を含む軌跡データを1分ごとに送信する。その結果，低速通信でもランナーの位置ばかりでなく，走行スピードや，休憩の様子も把握することができ，開発したシステムの有効性を示すことができた．

2024年は，緯度経度をそのまま六角形格子座標に変換して送信したが，2023年と同様の結果を得ることができた．端末とクラウド側の処理を若干ではあるが軽減することができた．

また，データ管理を実験室のPCからクラウドに移しデータベースにデータを保存できるようにしたことで，ブラウザから端末や表示時間範囲を指定して表示できるようになった．