

## 6. 交通インフラ用レーダの河川への適用実験

沖電気工業株式会社

佐野弘樹

## 【講演】

### <スライド1>

報告します。私の所属する企業ですが、交通向けの製品を主に開発している部隊で、河川の観測などはまだあまりノウハウを有していないため、皆さまからさまざまなご意見、アドバイスを頂けると幸いです。では始めます。

### <スライド2>

目次ですが、このようになっています。まず実験の目的と方法に関して説明し、実験結果を短距離と長距離に分けて取りましたので報告したいと思います。そして考察、まとめという流れです。

### <スライド3>

まず実験の目的ですが、交通インフラ用に開発中のレーダー技術を河川に適用し、特性を評価することです。元々、交通向けに開発している技術の活用イメージを載せたのですが、交差点などの道路の脇に路側機としてレーダー装置を設置し、道路上の広い空間に電波を照射して、車や歩行者など、さまざまな物体の情報を検出します。ここではバスが右折しようとしています、死角を持っている車などに情報支援をするというものです。

このようなことを実現するために開発しているレーダー装置で計測可能なパラメータを、右に示しています。まず、レーダー装置からターゲットまでの距離が計測可能です。それから、ターゲットの進行方向に対する移動速度を推定することが可能です。さらに、レーダー装置の正面から見て、ターゲットが水平にどの程度ずれた位置にあるか、方位角の情報と、レーダー装置は路面を見下ろすように付けられていますので、ターゲットがどの程度見上げた、あるいは見下ろした角度にいるのか、仰角、俯角（ふかく）を計測することが可能となります。これにより、距離と方位角と仰角、俯角の情報から、極座標空間で対象の位置を検出し、速度を推定することが可能となっています。

この技術を河川に適用し、河川表面に多数ランダムに存在する波の、それぞれの位置や速度を計測することができないかと考えています。時間的に波は移動しますので、連続的に情報を取得して、川の表面全体を計測しているような効果が得られるのではないかと期待しています。

### <スライド4>

実験の方法はこちらです。使用するレーダー装置は、23年度に試作した交通インフラ用のレーダー試作機となります。これを装置設置風景の写真のように設置し、模式図で表すと、三脚を立てて、その上の雲台にポールを取り付けます。ポールの先にレーダー装置を取り付けて、雲台の角度を調整することによってポールの傾きを変えて、レーダー装置を川面に向けます。

今回は計測可能な距離に関する検証をしたかったため、設置俯角を調節することで水面までの距離を変更する方式を取りました。例えば左下のよう、30度の設置俯角で装置を

設置すると、赤線で示した水面までの距離は短くなりますが、遠距離を計測する場合は 12 度などに設定して、遠くの水面からの反射を読み取ります。

#### <スライド 5>

実験結果がこちらです。まず短距離での測定の結果ですが、設置の条件としては、設置俯角 30 度で、橋の欄干上の高さが水面からおおよそ 10 メートルですので、正面方向の直線距離は 20 メートル程度であると計算できます。アンテナから送信される電波は広がりを持っていて、アンテナの垂直視野角が大体  $\pm 10$  度です。右上に俯瞰（ふかん）図を示しましたが、水平の視野角が  $\pm 32$  度程度で、おおむねこの範囲に電波が照射されます。

水面からの反射を検出した結果が左下のグラフです。まず、左下が距離対受信パワーの散布図になっています。本来、装置の正面に当たる 20 メートル先のターゲットに向けての電波が一番強く出ているのですが、ここではもっと手前の、距離の短いところからの反射が強く観測されています。これは純粋に送信利得が高いことよりも、手前にあることで、距離による減衰が少ないことの影響が強く表れているためだと考えられます。ですので、このような装置を実際に設置する場合には、観測したい水面よりも少し奥に向けて設置して、手前のほうが観測される効果を利用する必要があります。

右下の図が距離対速度の散布図で、距離で広がりを持ちます。速度も 1 メートル毎秒から 3 メートル毎秒程度に広がって分布しています。川の流速を算出するには、この値から代表的な、中心的な値を抽出して計測する必要があります。

#### <スライド 6>

先ほどの図は距離や速度、パワーなどに応じて点を並べただけで、川がどのように見えるかを表していたものではありませんでした。こちらが、先ほどの点群を距離と方位角などの情報に基づいて、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  のデカルト座標系の点の配置として変換したもので、 $xy$  平面に投影してあります。

左の図を基に説明しますが、ゼロ・ゼロの原点の位置がレーダー装置になっていて、そこから  $x$  軸方向、縦方向が川の縦断方向になっています。横軸の  $y$  軸が水平方向です。これを見ますと、 $x$  で大体 10 から 22 メートルの範囲、 $y$  でマイナス 8 からプラス 12 メートル程度の範囲に点が観測されていることが分かります。特にレーダーの水平視野角である  $\pm 32$  度の範囲を青い線で示しましたが、この範囲に点が集中して分布していることが分かります。アンテナの設計したとおりの視野角が川の上でも確保されているという結果です。

線の色は、左の図は流速を表していて、カラーバーが右にあります。大体真ん中辺りの青緑色を示しているのが、おおむね一般的な分布となっている様子がうかがえます。右のグラフは、流速ではなくて、点の色を水面までのレーダーの高さ、 $z$  軸方向の  $z$  の値で色分けしたものです。おおむね全体として青いのですが、端の部分を見ると若干緑色がかっているように見えます。

#### <スライド 7>

先ほどの結果ですと数値的なところが分かりづらかったので、左上の図のような形で、

計測された範囲を 2 メートルメッシュに区切って、その範囲の平均値などを求めた結果がこちらです。右上の図が検出点数で、こちらのページでは共通して、数値の大きいところを赤、数値の小さい升を青で表示してあります。

これを見ますと、検出点数はほとんど真ん中の辺りに集中していて、周辺部はあまり点数が取れていないという結果になっています。ですので、実際に計測可能な範囲はもう少し狭く取るか、あるいはもっと長時間計測して点数を確保するなどが必要になってくると思います。

左下が流速の分布です。こちらも同様に、流速の速いところが赤、遅いところが青で表示されています。検出点数の少ない一部の端のエリアですと、大きく外れた値が表示されているところもありますが、全体としてはおおむね同程度の値が観測されているといえると思います。

右下が水面までの高さです。先ほどの  $z$  軸の  $z$  の値で色分けしたものになっていて、こちらは、観測された位置と水面までの高さのデータ値に明らかな相関があります。真ん中の青い点が最も値が小さくて、そこから外側の横方向に広がっていくに従って、値がどんどん大きくなり、真ん中と端のエリアで 1 メートル高低差があると表現しています。実際に水面にこのような変化が伴っているわけではないので、この計算結果は何らかの誤差を含んだ値になっています。

#### <スライド 8>

続いて、長距離の測定を行った実験結果です。設置俯角は 12 度で、水面までの直線距離は 50 メートルほどです。アンテナの垂直の視界は  $\pm 3$  度で、水平の視界が  $\pm 5$  度になっています。こちらは、長距離まで見られるように送信利得を増やした代わりに、アンテナの指向性を絞ったものになっているので、このような狭い角度までしか見えないものになっています。

こちらにも距離対受信パワーの図を左下に示しました。同様に 50 メートル付近が送信パワーのピークですが、41 メートル程度の位置に受信のピークが見えています。距離対速度の散布図も、こちらは速度分解能が通常よりも粗くなっているために、横線が並んでいるように見えますが、全体的な形状としては短距離のものと大体似たような形をしています。

一番右に、 $xy$  平面に投影した散布図を表しましたが、やはり長距離まである程度見えているのですが、見えている範囲は狭く、青線で示した水平視野角  $\pm 5$  度の範囲より少し広いぐらいになっています。こちらはあまり詳細な解析ができるアンテナ設計等になっていないため、ここでは単純に、最大で 50 メートル先程度までは検知できたという評価になっています。

#### <スライド 9>

続いて考察です。こちらにも、短距離の詳細な解析を行ったものについてのみになります。流速についてですが、まず河川情報センターさまからご提供いただいた、同時刻程度のレファレンスデータを参照しますと、全体の平均流速が 2.2m/s で、弊社で測った全範囲の 3

シグマ、平均が 2.20m/s と、おおむね同程度の値になっています。差については、河川全体を横断して計測するか、レーダーで一部の区間のみを測定したかによる違いの他、先に話がありました風速の影響等も、今回は全然補正していないので、そういった影響が出ているとみられます。

水位についてですが、実際は水位に換算する前の、レーダー装置から水面までの高さで表現しているのですが、こちらも河川情報センターさまからご提供いただいたデータによりますと、欄干の標高が 90.164 メートル、水面の標高が 79.956 メートル程度で、大体 10.2 メートル程度の差があります。

レーダー装置が欄干から 20 センチほど上にあつたため、実際の水面までの高さは 10.4 メートルほどと考えられます。先ほどの点群で計測した結果、水面までの高さの値ごとに検出点数を分布として表したものが左下の図で、10.3 メートル程度にピークをつくっています。これは想定 of 10.4 から少し短いのですが、今回使用したレーダーの計測原理的に、波として盛り上がった箇所からの反射のみを計測しているため、平均的な水位を計測した結果よりも少し高く、つまり距離が近く観測される可能性があるため、それによる影響とみえています。

それはそれとして補正が必要だと思うのですが、観測結果としては、最頻値付近はある程度妥当なのですが、この最頻値というのが検出点数が多いところ、つまり観測範囲の真ん中の辺りのデータになりますので、その辺りは妥当なのですが、周辺部にかけて、ひずみのような形で誤差が発生していると考えています。

#### <スライド 10>

まとめです。短距離の実験で流速の分布を計測し、おおむねアンテナの設計どおりの視界を確保することができました。流速分布は、計測した範囲では大体似たような値が出ていまして、数値的には妥当な水準だったと考えています。長距離での実験では、最大で 50 メートル先程度の距離まで観測できたが、視界は狭いので、こういった点についてはアンテナ設計の最適化などを行って、計測可能なエリアの広さと距離の両立を図っていきたいと考えています。

水位に関しては、今回は高さのデータですが、正確な分布データの算出までには至っていません。周辺部にかけて発生しているひずみの補正方法を調査・確認し、補正する必要があると考えています。

今後としては、今回は交通インフラ用のレーダー装置のパラメータで取りまして、あまり、本当に最適な設定にはなっていないので、河川用に修正したパラメータで測定を重ねていきたいと思っています。また、アンテナの設計の最適化などを行って、長距離で広い範囲が見られるような形につなげていきたいと思っています。

#### <スライド 11>

以上で終わります。ご清聴ありがとうございました。

# 交通インフラ用レーダの 河川への適用実験

2025年6月21日 河川観測高度化シンポジウム

沖電気工業株式会社

佐野 弘樹

© Copyright 2025 Oki Electric Industry Co., Ltd.

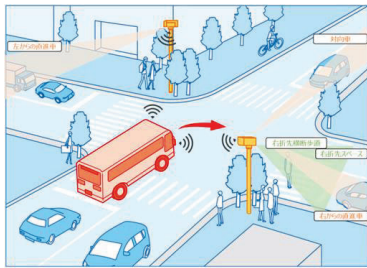
S OKI CONFIDENTIAL

## 目次

- 目的
- 実験方法
- 実験結果（短距離）
- 実験結果（長距離）
- 考察
- まとめ

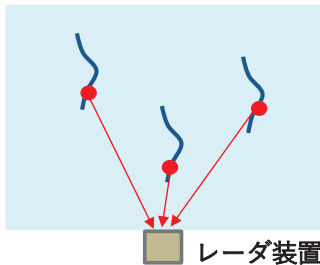
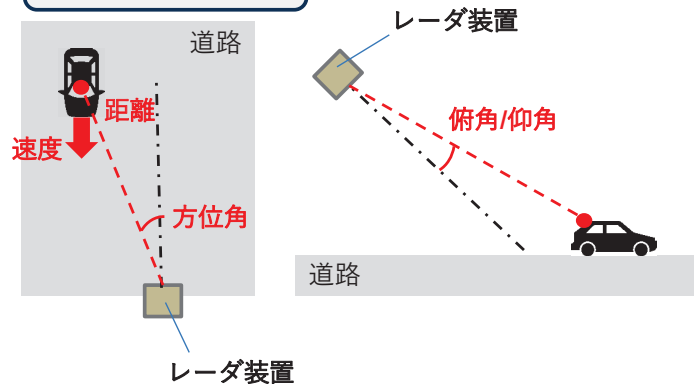
## 交通インフラ用に開発中のレーダ技術を河川に適用し、特性を評価

### 活用イメージ



交差点などで死角の情報支援

### 計測パラメータ



レーダ装置

河川表面の波の位置・速度を計測  
連続的に情報を取得し、川面全体を観測

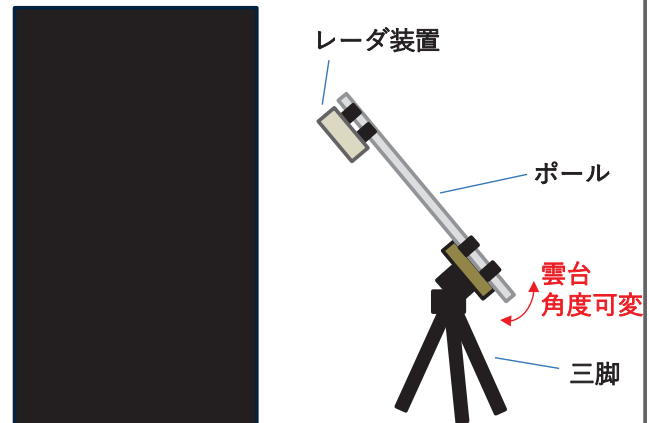
# 実験方法

### 使用するレーダ装置



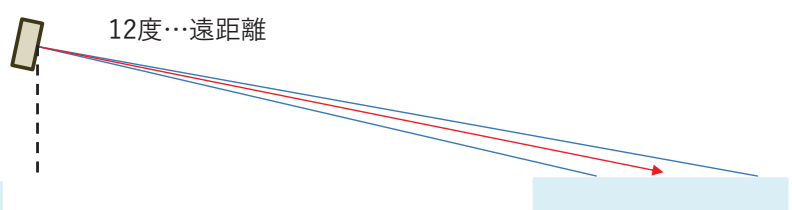
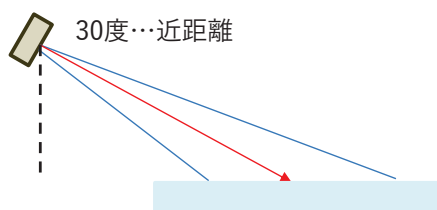
23年度試作  
交通インフラレーダ

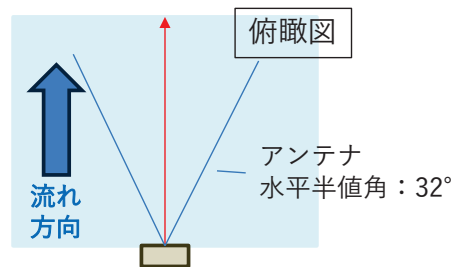
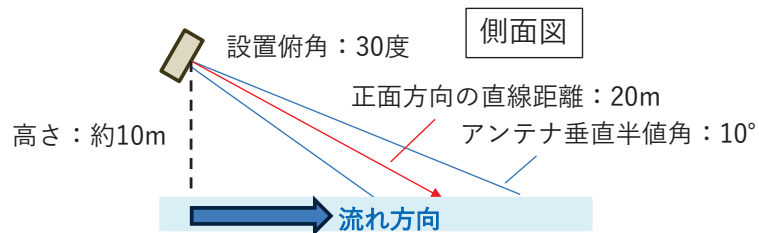
### 装置設置風景



### 計測可能距離の検証方法

設置俯角を調節することで水面までの距離を変更



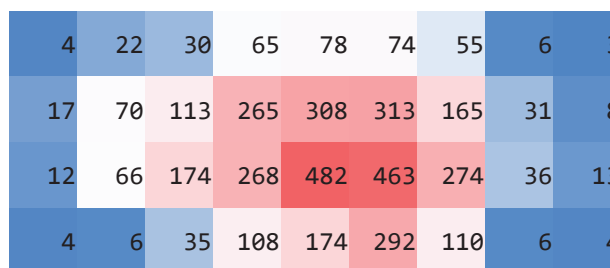




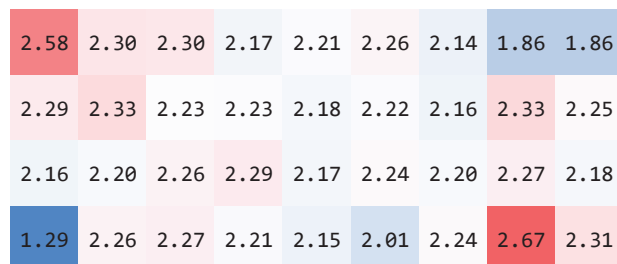
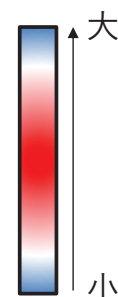
## 実験結果（短距離測定-2mメッシュ）



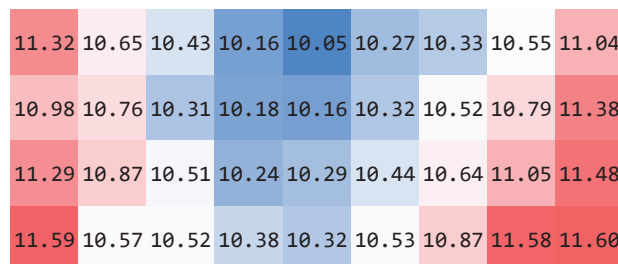
観測範囲を  
2mメッシュに区分



検出数



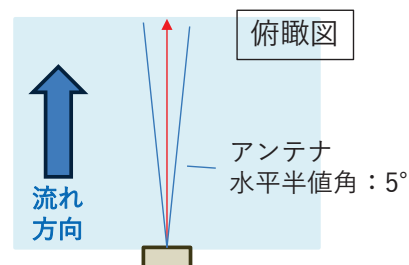
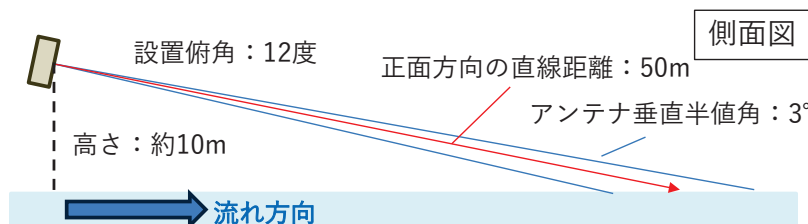
流速(m/s)



水面までの高さ(m)

流速は検出数が極端に少ない箇所を除けば概ね同程度の値が観測されている  
水位（レーダから水面までの距離）は大きな差を含み、誤差があると推察される

## 実験結果（長距離測定）



ピーク中心で41m、最大で50m先程度まで検知

## 流速について

レファレンスデータ  
(河川情報センター様ご提供)

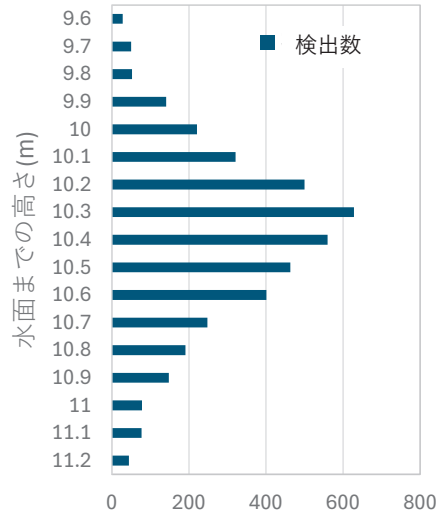
2.12m/s

OKI計測  
平均(3σ)

2.20m/s

- ・分布も一様で、妥当な結果と言える
- ・誤差については、河川全体の横断計測に対し、レーダによって一部の区間のみ測定したことによる影響と考えている

## 水位について



※河川情報センター様ご提供

欄干の標高データ	水面の標高データ
90.164(T.P.m)	79.956(T.P.m)

差：10.2m

- ・レーダ装置が欄干から20cmほど上
- ・レーダの計測原理的に、波として盛り上がった箇所からのみの反射を計測しているため、平均的な水位より少し高く(距離が近く)観測される可能性がある
- ⇒最頻値(中心付近)はある程度妥当
- ⇒⇒周辺部にかけてひずみが発生していると考えられる

# まとめ

## ■ まとめ

- 短距離での実験で流速の分布を計測した
  - ▶ 水平方向-8~+12m、垂直方向+10m~+22m程度まで観測
    - 概ねアンテナの設計通りの視界となった
  - ▶ 流速分布はある程度一様で、数値的にも妥当な水準
- 長距離での実験では最大50m程度の距離まで観測できたが、視界は狭い
  - ⇒アンテナ設計の最適化などが必要
- 水位に関しては今回正確な分布データの算出までに至らず
  - ▶ 補正方法を調査・確認し補正する必要がある

## ■ 今後の展開

- 交通インフラ用のパラメータでなく河川用に修正した設定で測定
- アンテナ設計の最適化



*Open up your dreams*

## 【質疑・応答】

**【土木研究所 工藤】** 大変興味深い発表で、ありがとうございました。空間分布が取れるということで、素晴らしい技術だと思ってお聞きしていました。時間解像度的には、どれぐらいの時間間隔でこういった空間分布が出てくるのですか。

**【沖電気 佐野】** 今回の測定は、40 秒程度の範囲を連続して取得して、処理しています。ですので、分解能という意味で、測定の時間自体をもっと長くして、例えば高品質なデータを取るようにすることはあると思うのですが、その程度のオーダーで今はやっています。

**【土木研究所 萬矢】** 非常に面白い講演をありがとうございました。先ほど、頻度の平面分布のようなものがあって、これがすごく面白いと思ったのですが、空間的な分布のほうです。これで、流速はそこそこ分布しますと、一点のもっともらしい流速値を判断することが簡単ではありません。そうすると、見方によっては、この左下のものが全部合っているかもしれないわけですね。その時に、多分右上の検出点数か何かで、どのぐらいまでの点数だったら合っている、合っていないというか、有意かそうでないかという議論をしなければいけないかと思うのですが、その辺の判断基準は何か考えられていますか。

**【沖電気 佐野】** いえ、こちらは本当に、まだ取ってみたというぐらいの段階で、これから、どれくらい点数があれば精度的に十分かなど、実際の河川の環境などでも検証していかなければいけないと思っています。

**【土木研究所 萬矢】** ぜひ他のセンサー、例えば画像解析なら画像解析で、同様の平面分布をきちんと取りながらこういう議論をすると、すごい蓄積になるのではないかと聞いていました。

**【河川情報センター 深見】** 測定原理がよく分かっていないので、基本的なことから教えてほしいのですが、アンテナの半値幅が、アンテナ垂直半値幅や水平半値幅が、近いところで広くて、遠いところで小さい値だったと思うのです。近いところが 32 度とおっしゃって、遠いところが 3 度、6 度とおっしゃいました。普通は、電波は近いところが解像度が良くて、遠くなるとビームが広がっていくというイメージなのですが、そもそも、なぜこれは距離によって半値幅が変わるのですか。

また、エリアの中で、10m や 20m の範囲でたくさん、まさに分布のデータを選んでいるわけですが、これはどういう原理でそれが識別できるのですか。2m メッシュでどうやってできるのですか。

【沖電気 佐野】アンテナの話につきましては、短距離と長距離で測定に使用しているアンテナを変更しているのです。短距離は視野角も広いのですが、利得の少ないアンテナを使用して広い範囲を見ています。長距離は遠くまで見なければならぬので、指向性を狭くして、鋭いアンテナを使っているという形で、このようなパラメータの違いが出ています。

【河川情報センター 深見】では、遠いほうが大きなアンテナを使っているということですか。

【沖電気 佐野】そうですね。そして、点の検出原理については、詳しくはまだ説明できかねるのですが、基本的には距離と方位角、俯角の情報がありますので、現状はこれを単純に極座標からデカルト座標に変換しているだけなので、その、実際の距離などの分解能や、角度をどのくらい細かく分割して計測できるかなどの条件によって、細かく点として検出できます。

【河川情報センター 深見】アンテナをそちらの方向に向けているという意味なのですか。それともアンテナを固定しているのですか。

【沖電気 佐野】アンテナは固定して、全体に電波を出しているのが短距離での測定のイメージです。

【中央大学 小山】発表ありがとうございます。今見せていただいているのは、40 秒間ぐらいをある意味、積算して、平均値としての値を出しているというイメージで合っていますか。瞬間流速を出して、瞬間瞬間の値は取れると思うのです。それを処理した流速などの値を見せてもらっているわけではなくて、ある意味、先ほど 40 秒ぐらいのものが出たので、あれは瞬間瞬間の値を処理できるものなのですか。

【沖電気 佐野】そうですね、これは瞬間瞬間の値を点として表示しています。最終的に時間平均としては、こういう形でメッシュで分割して、一つの領域にまとめて処理しています。

【中央大学 小山】瞬間瞬間の一個一個の値を見ると、ラウンドアップしていると思うのですが、それはそれで意味のあるデータだと思うので、ぜひ見たいと思いました。やはり瞬間瞬間の値がどうなっているのかを見たいと思いました。コメントになります。

