

# 凍害予測のための日射を加味した スラブ軌道断面温度分布解析

鉄道力学研究部 軌道力学研究室

主任研究員 浦川 文寛

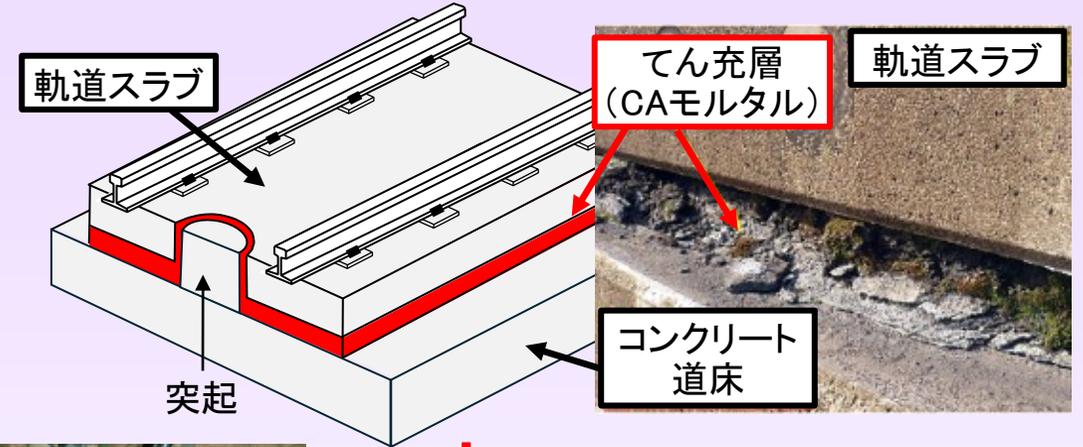
# 発表内容

Agenda

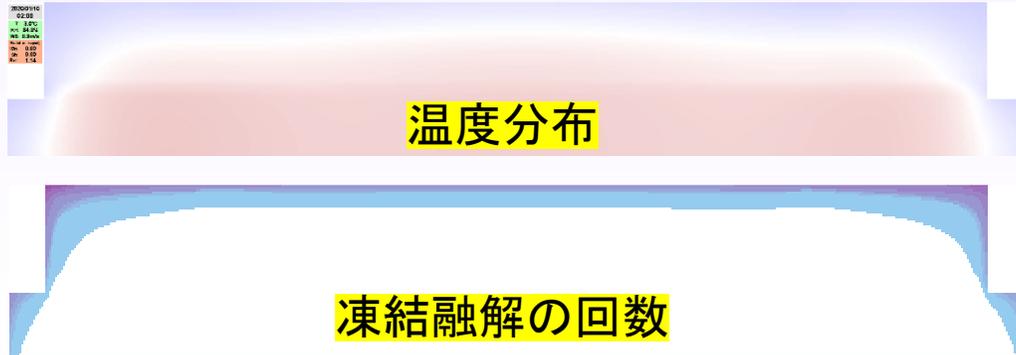
- 1 研究の背景・目的
- 2 スラブ軌道断面の温度解析モデル
- 3 解析精度の検証試験
- 4 営業線の凍結融解シミュレーション
- 5 まとめ

# 研究の背景・目的

- 1980年代以前に寒冷地に敷設された一部のスラブ軌道では、凍結融解によりてん充層(CAモルタル)が劣化。
- 融解は日射の影響を強く受ける  
⇒防音壁の陰により凍結融解が異なる？

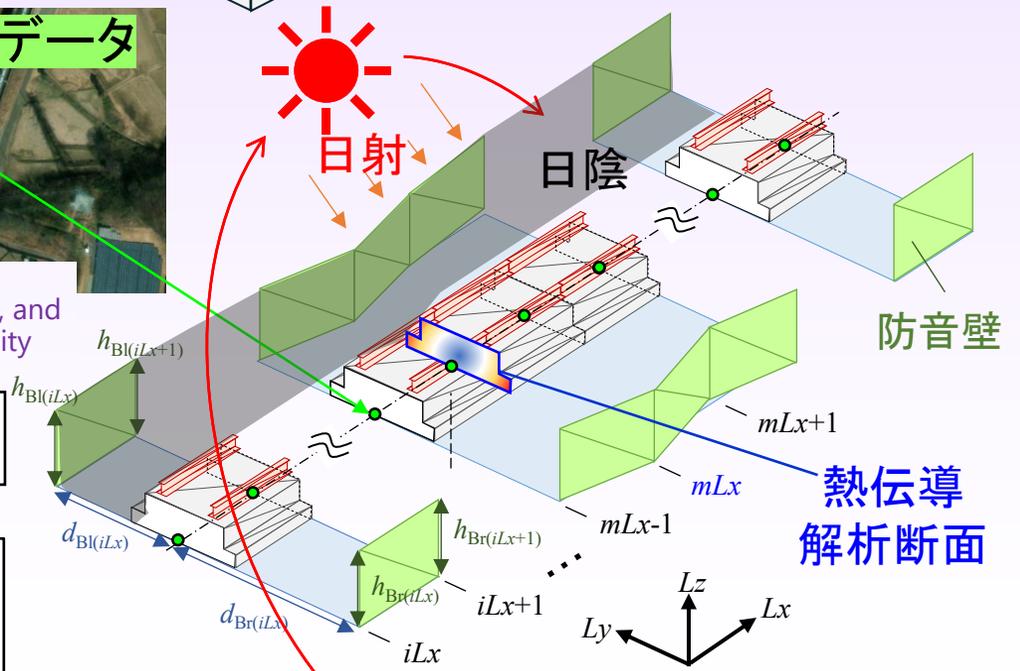


目的:スラブ軌道断面の温度解析  
⇒日射と凍結融解の関係を定量化



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

日射量解析  
断面2次元熱伝導解析



熱伝導解析断面



# 発表内容

Agenda

1 研究の背景・目的

2 **スラブ軌道断面の温度解析モデル**

3 解析精度の検証試験

4 営業線の凍結融解シミュレーション

5 まとめ

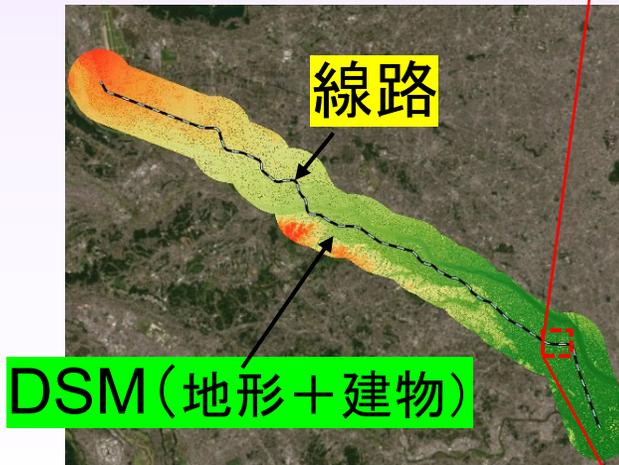
# 解析プログラム開発の基本方針

既往研究: レール温度予測モデル

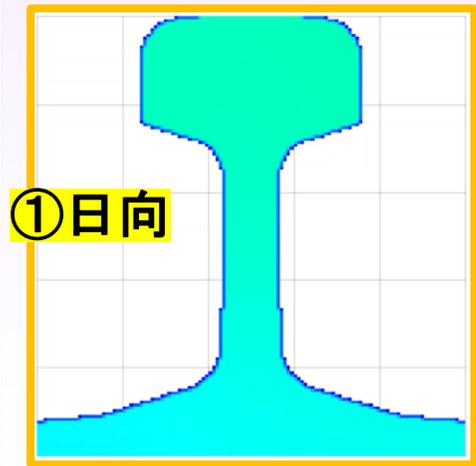
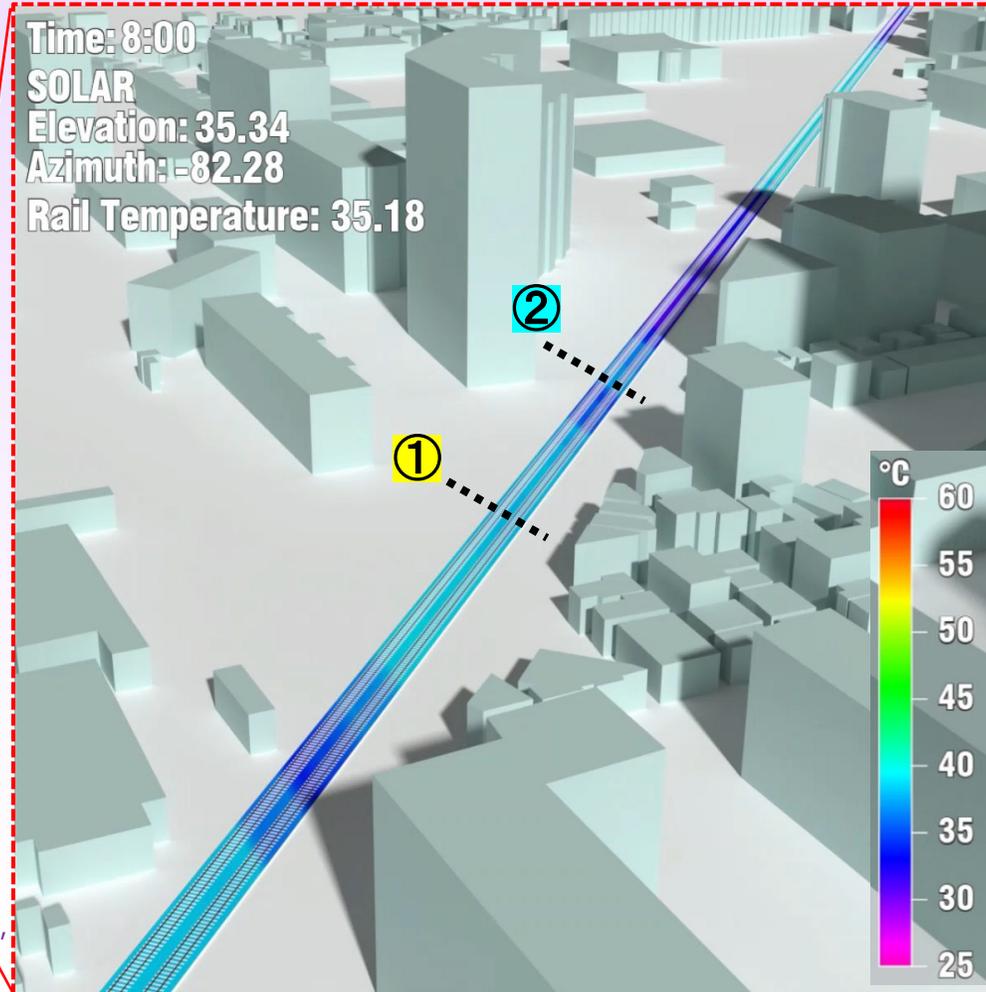
スラブ軌道に適用

## 温度予測例

- 日時: 8月15日  
8:00~17:00
- 延長: 42km
- 標準気象条件

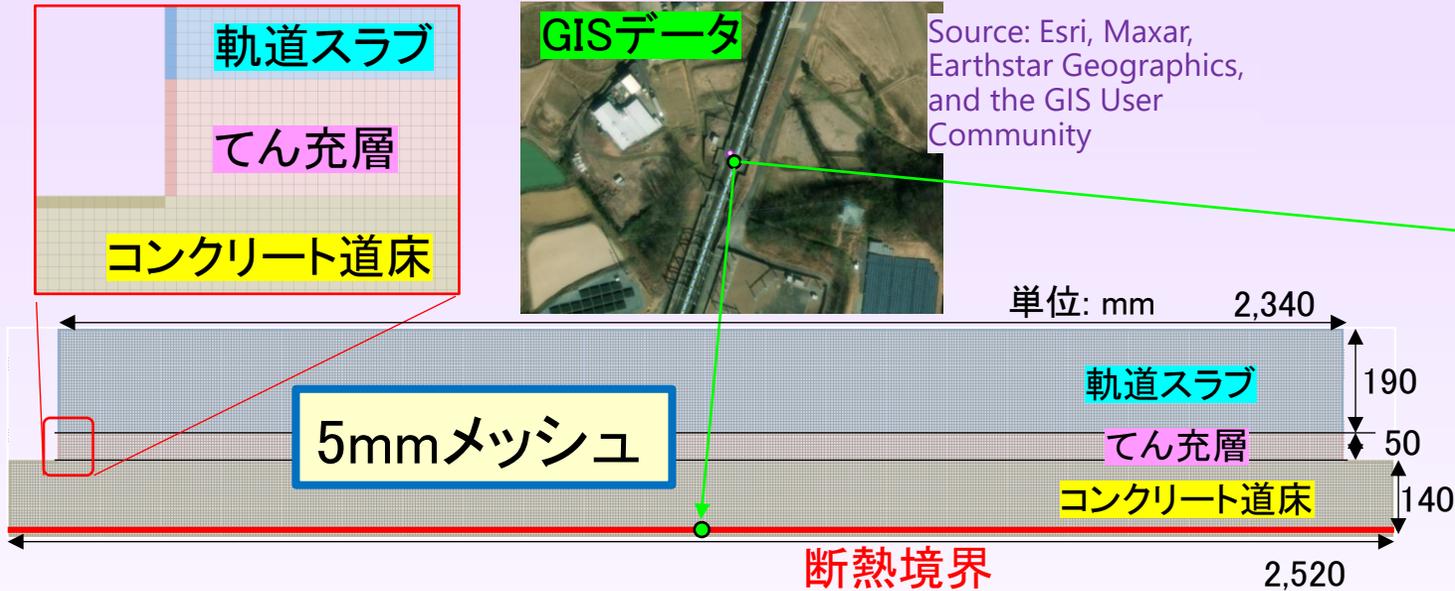


Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

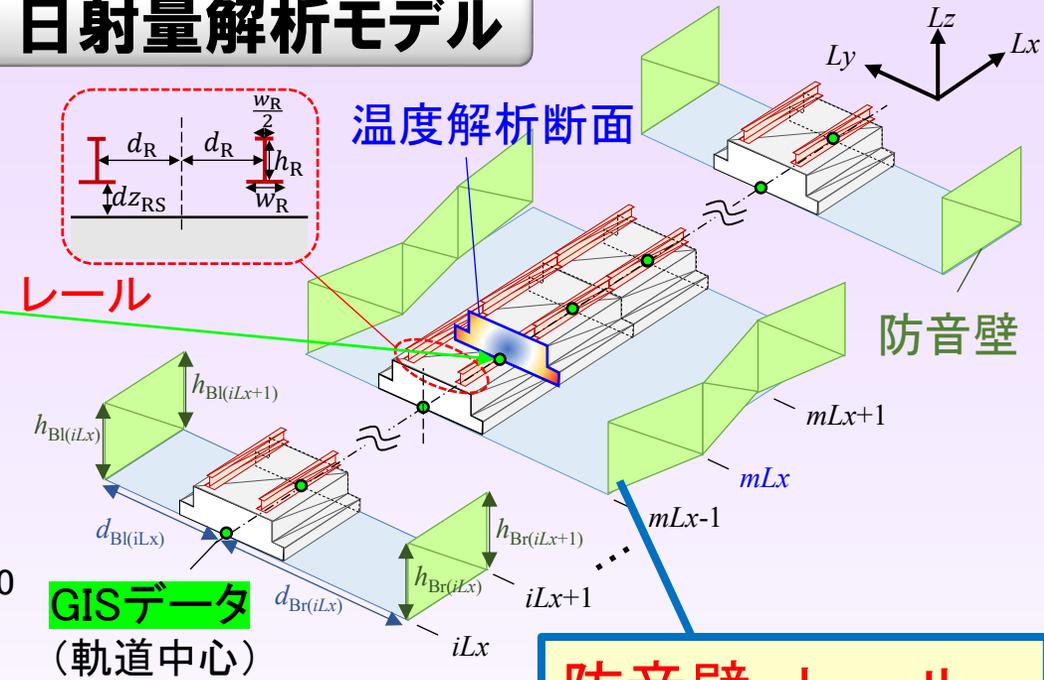


# 解析モデルの概要

## 断面2次元熱伝導解析モデル



## 日射量解析モデル



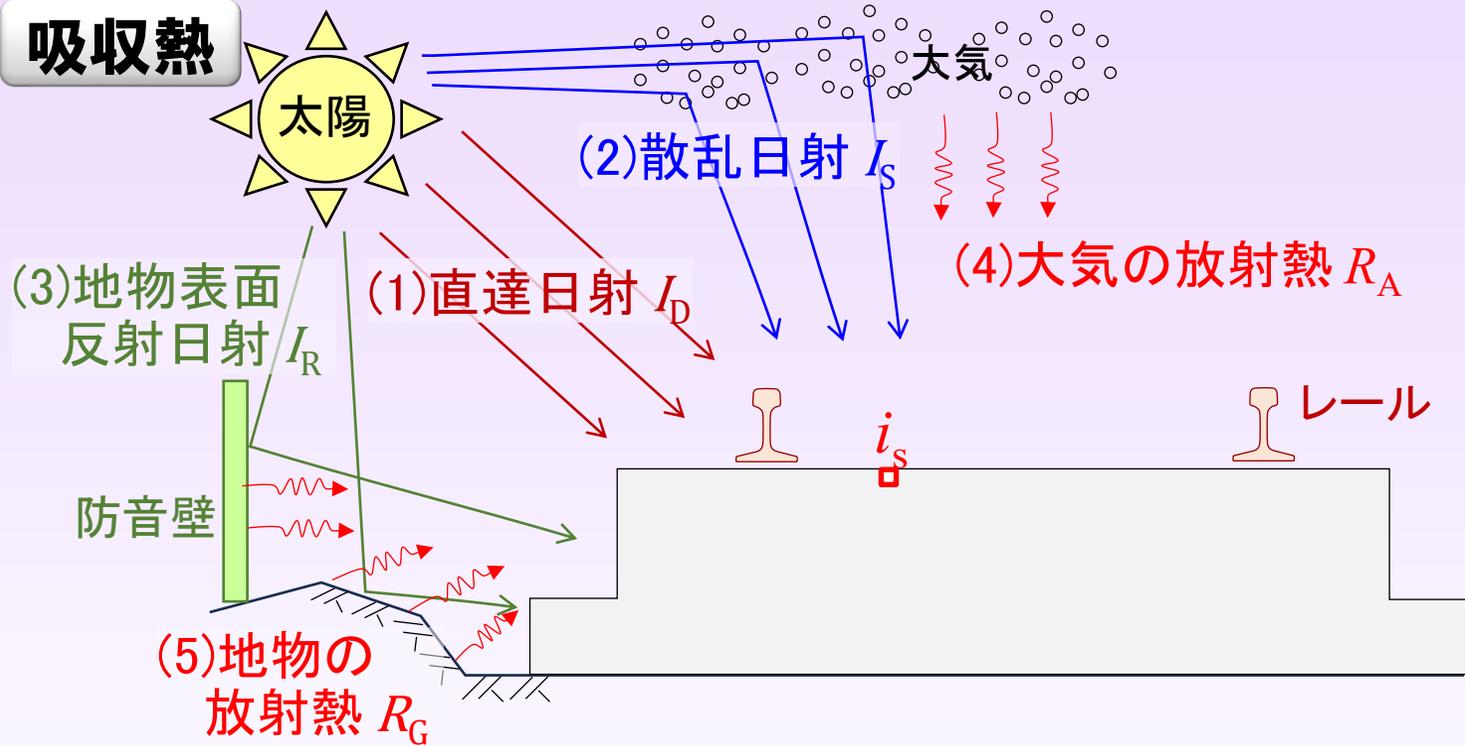
## 解析プログラム(独自開発)

- プリポスト: Excel-VBA
- ソルバ: GNU Fortran

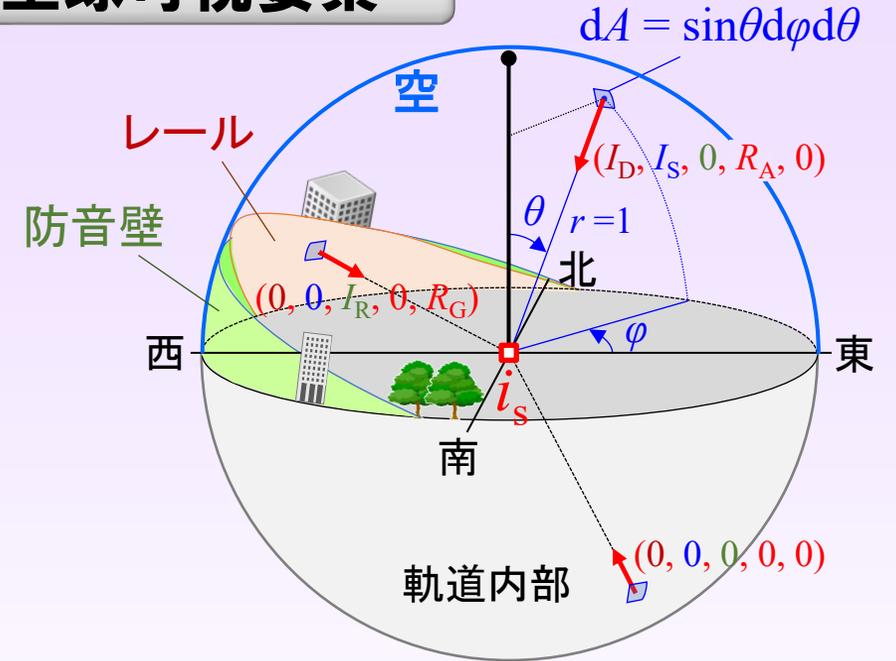


防音壁、レール、  
スラブ軌道表面  
を三角形平面で  
モデル化

# 日射量解析（吸収熱計算）



## 全球可視要素※



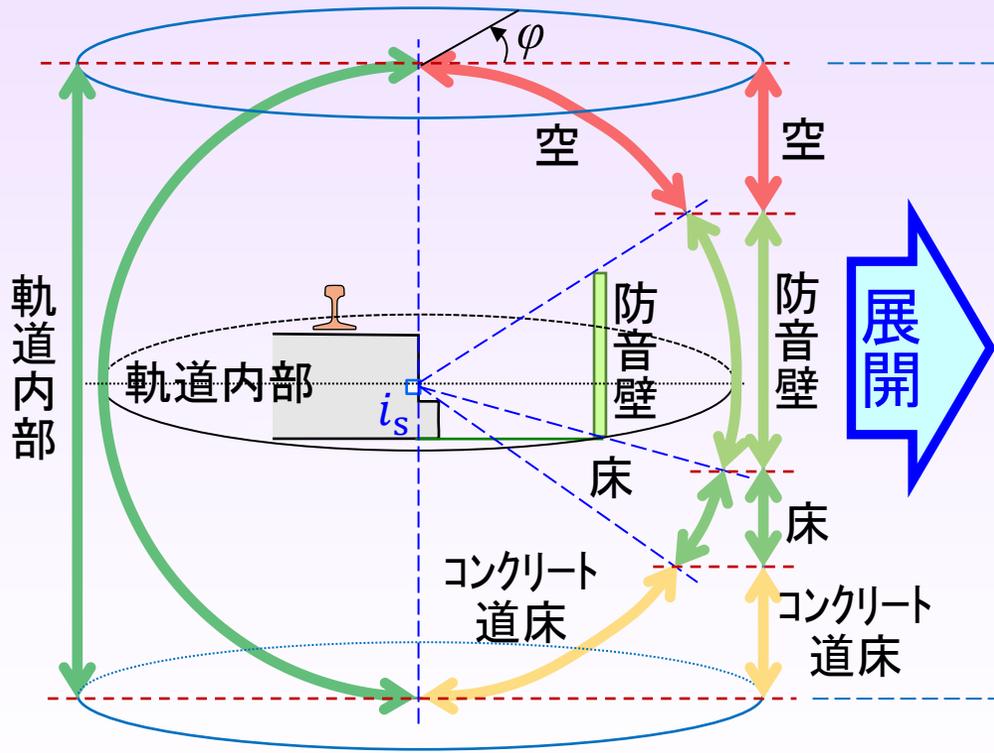
## スラブ軌道表面メッシュ $i_s$ の吸収熱

$$Q_{IN}(i_s) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \{I_D + I_S + I_R + R_A + R_G\} \sin\theta d\phi d\theta$$

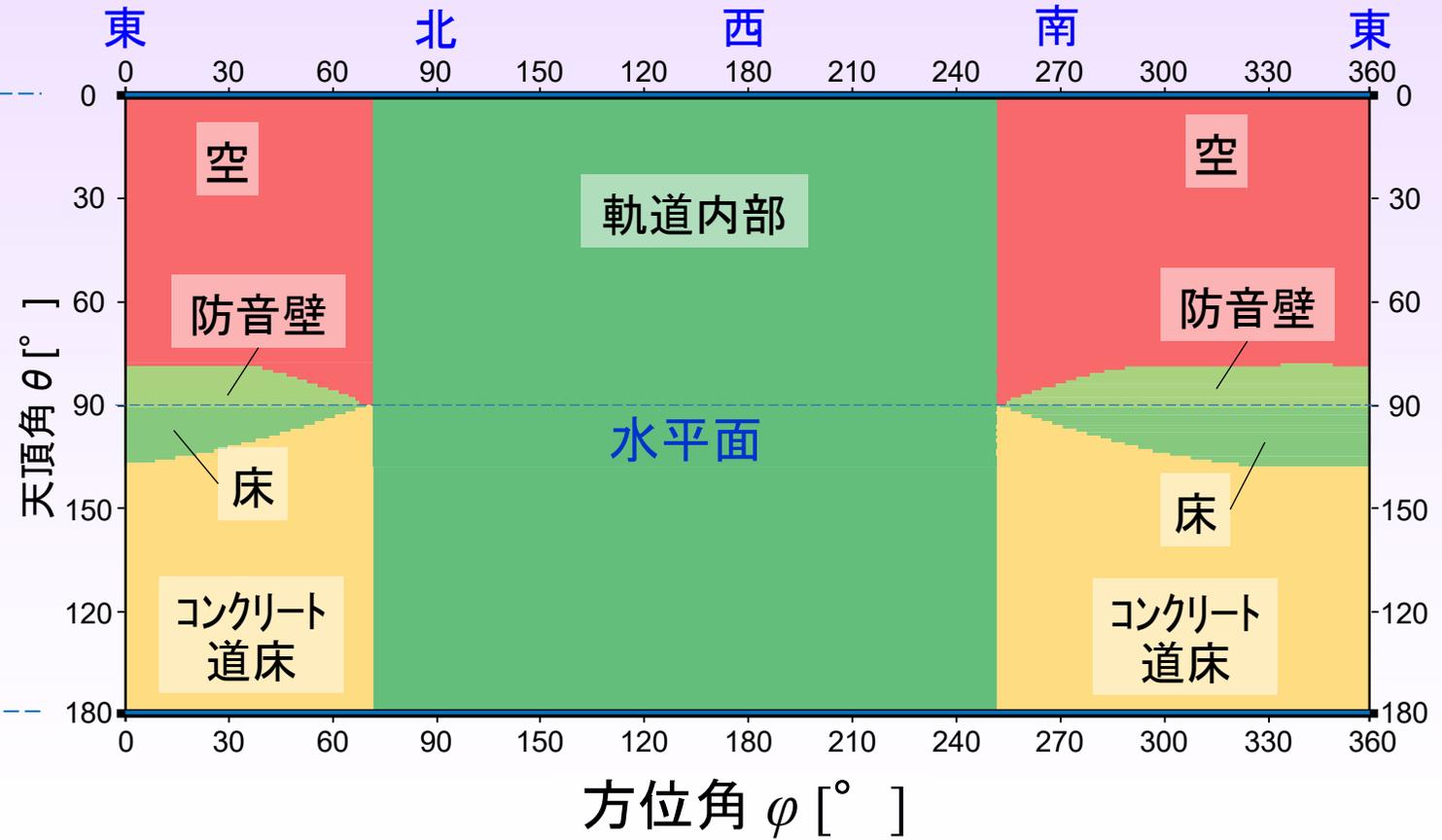
※ スラブ軌道表面メッシュ  $i_s$  から  $(\phi, \theta)$  方向の視線の先に何が  
あるかを極座標系で表す。

# 全球可視要素の計算方法

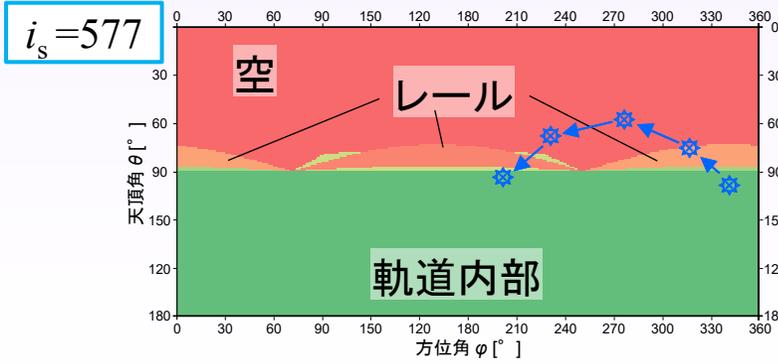
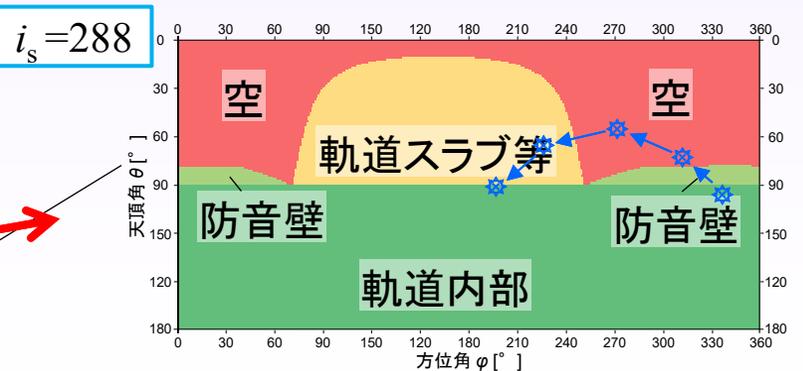
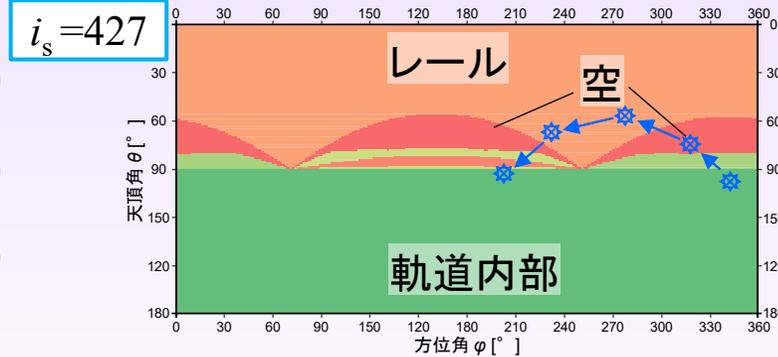
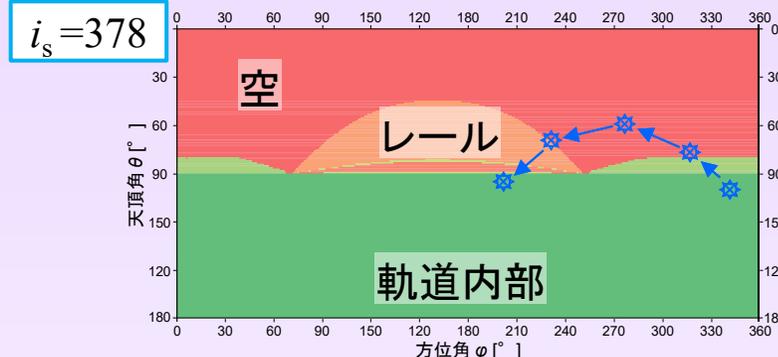
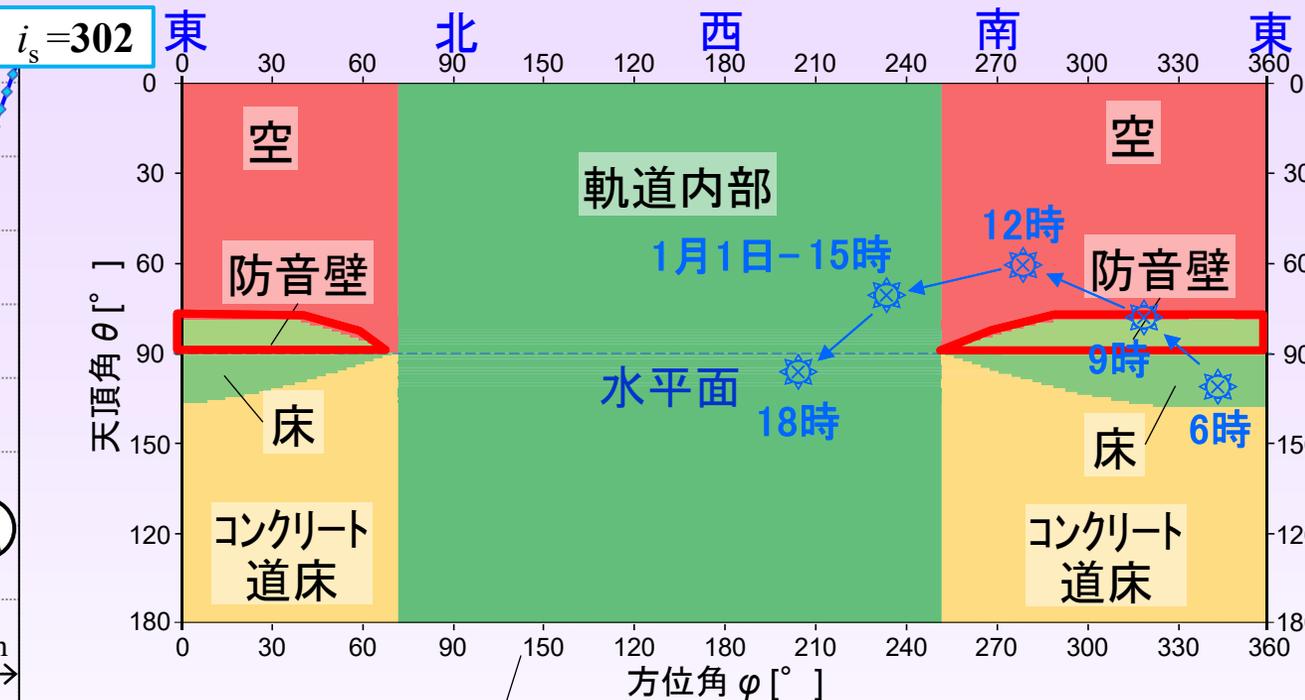
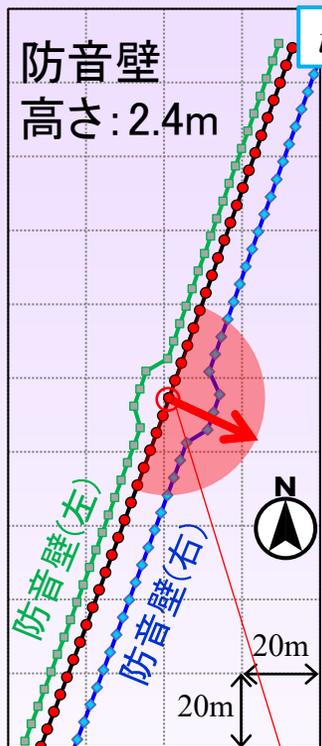
地物を球面に投影  
(地物がない方向は空)



2次元平面表示

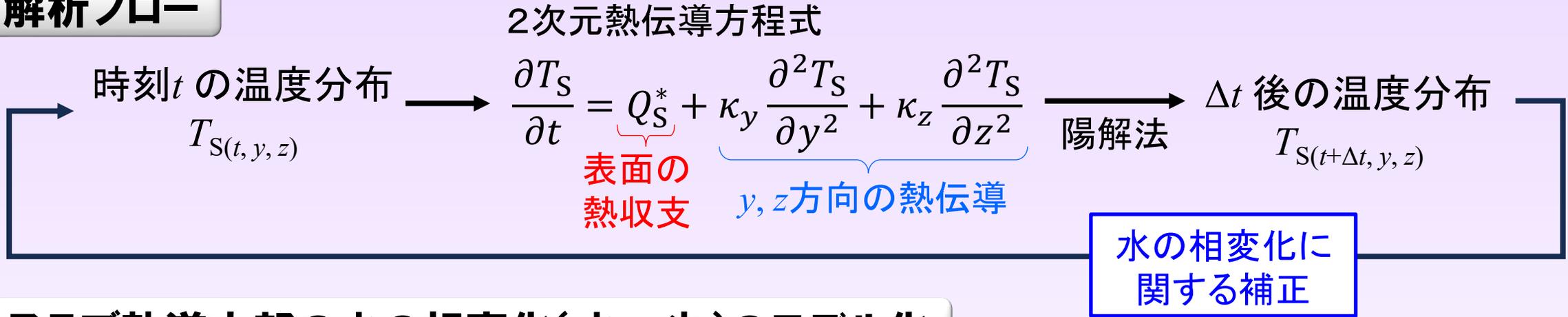


# 全球可視要素の計算結果例

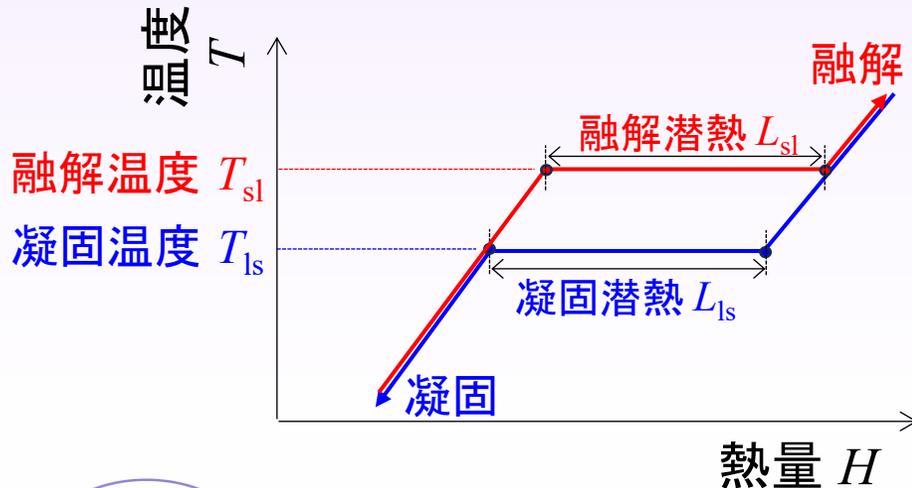


# 2次元非定常熱伝導解析

## 解析フロー



## スラブ軌道内部の水の相変化(水↔氷)のモデル化



$\Delta t$  間で凝固(融解)温度をまたぐ場合、一定の熱量  $L_{ls}$  ( $L_{sl}$ ) を放出(吸収)するまで温度変化をゼロとする。

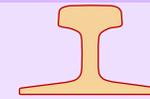
水の融解潜熱(J/kg)

$$L_{sl} = L_{ls} = w_c (\rho_s \Delta z \Delta y) L_{slw}$$

含水率

解析メッシュの質量

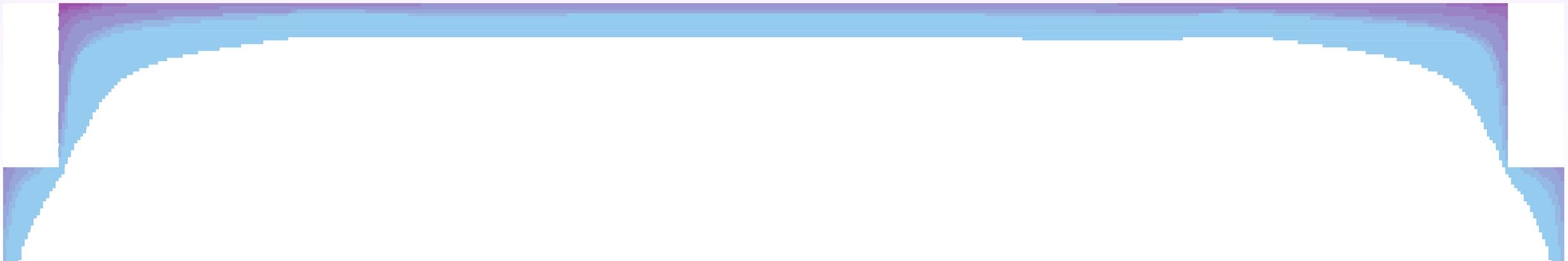
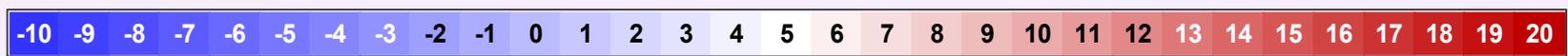
# 解析結果の一例（2か月間：1月1日～2月28日）



2020/01/01  
00:00  
T: 0.3°C  
RH: 64.0%  
WS: 4.7m/s  
Radiation: 0.00  
Idr: 0.00  
Ish: 0.00  
Rd: 0.79

※描写速度：1時間/0.3秒

温度[°C]



凍結融解の回数 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9



# 発表内容

Agenda

1 研究の背景・目的

2 スラブ軌道断面の温度解析モデル

**3 解析精度の検証試験**

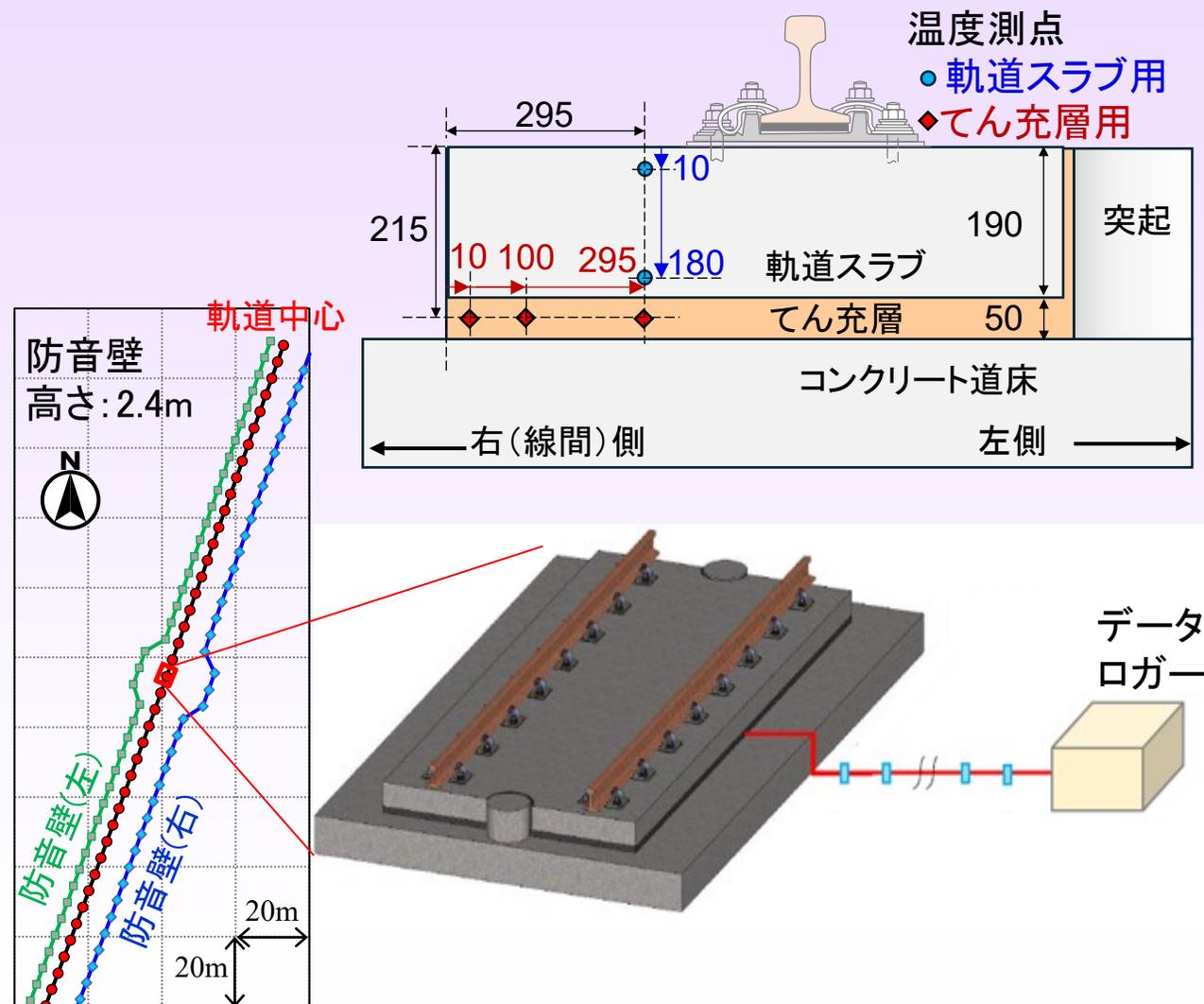
4 営業線の凍結融解シミュレーション

5 まとめ

# 試験の実施概要

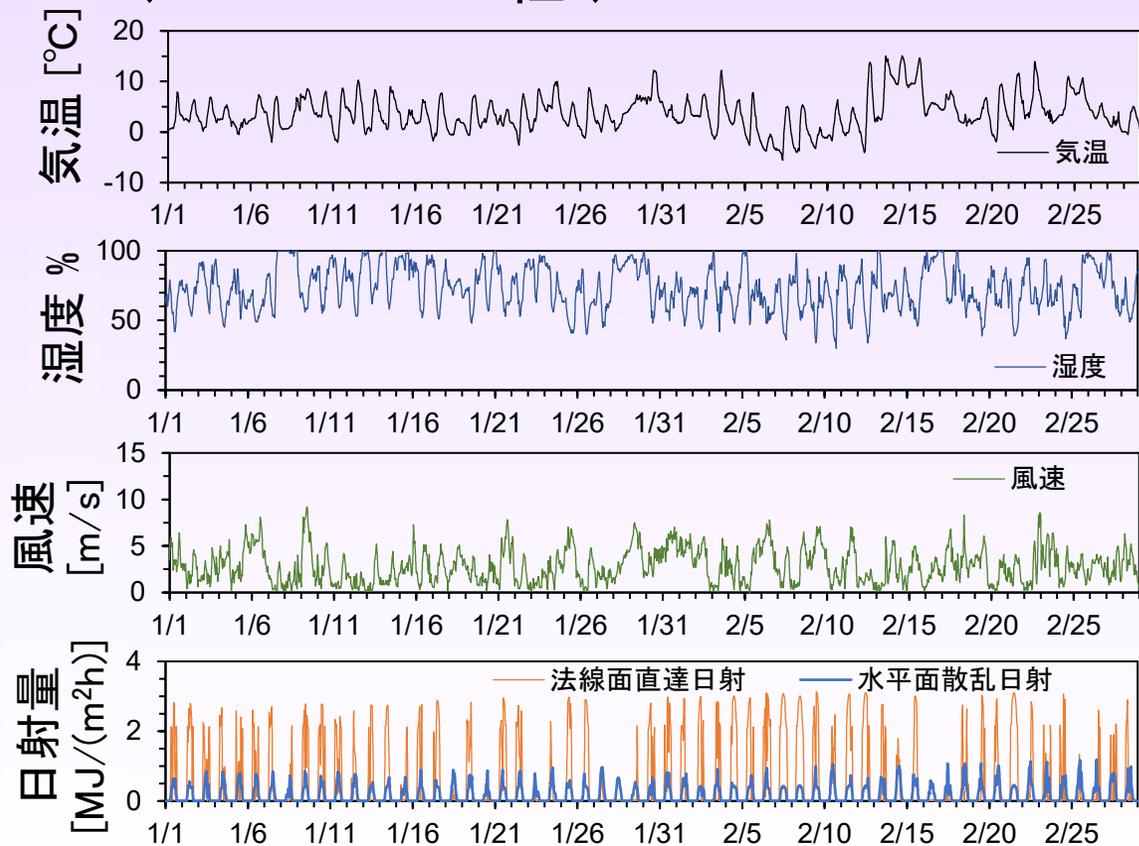
## 営業線スラブ軌道の温度を測定 ⇒解析値と比較して精度を検証する。

- 試験箇所: 営業線 下り線の右(線間)側
- 比較期間: 2020/1/11~2/29  
※解析は2020/1/1から開始
- 測点: **軌道スラブ 2箇所**  
(上面から 10, 180mm)  
**てん充層 3箇所**  
(側面から 10, 100, 295mm)



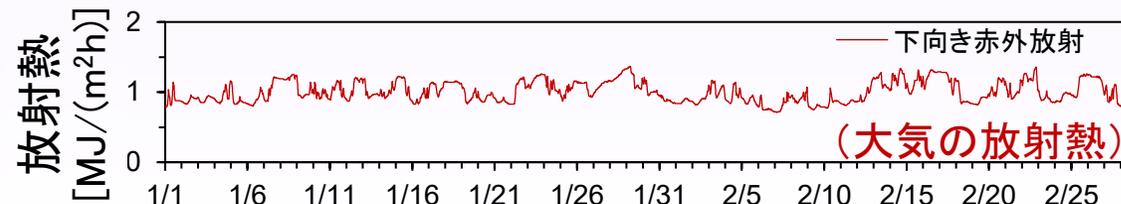
# 解析パラメータ（気象データ）

## 「WxTech 1kmメッシュ過去天気データ」 (weathernews社)



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

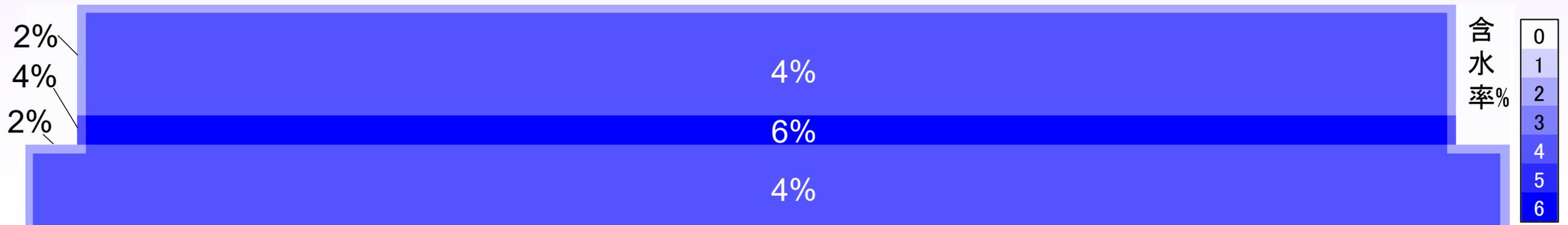
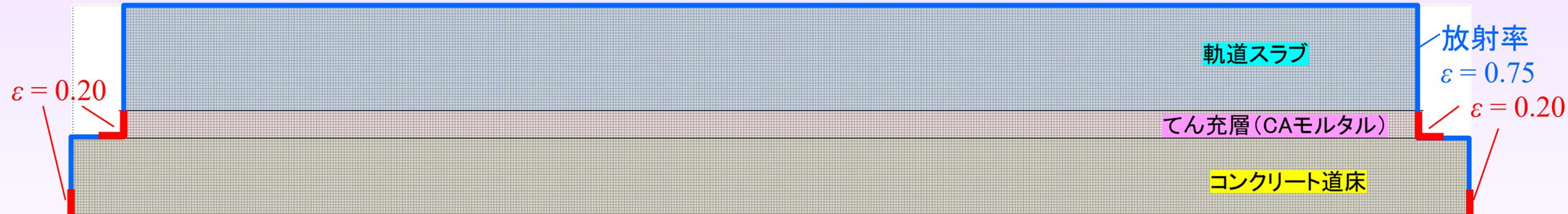
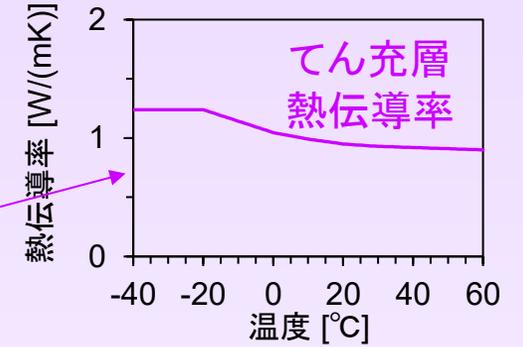
## 気象庁 つくば(館野)高層気象台



# 解析パラメータ（解析断面の内部・表面）

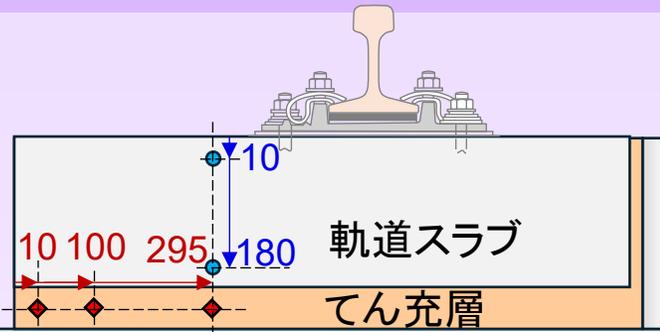
- てん充層の熱伝導率を温度の関数
- 含水率：表面から15mmを2%低く
- 表面の放射率  $\varepsilon$  基本: 0.75 凹部: 0.20  
(土・砂埃の堆積、積雪、苔・藻・カビの繁茂)

要素	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	比熱 [J/(kgK)]	熱伝導率 [W/(mK)]
軌道スラブ	2400.0	1150.0	2.7
てん充層	1700.0	1050.0	右図
コンクリート道床	2400.0	1150.0	2.7

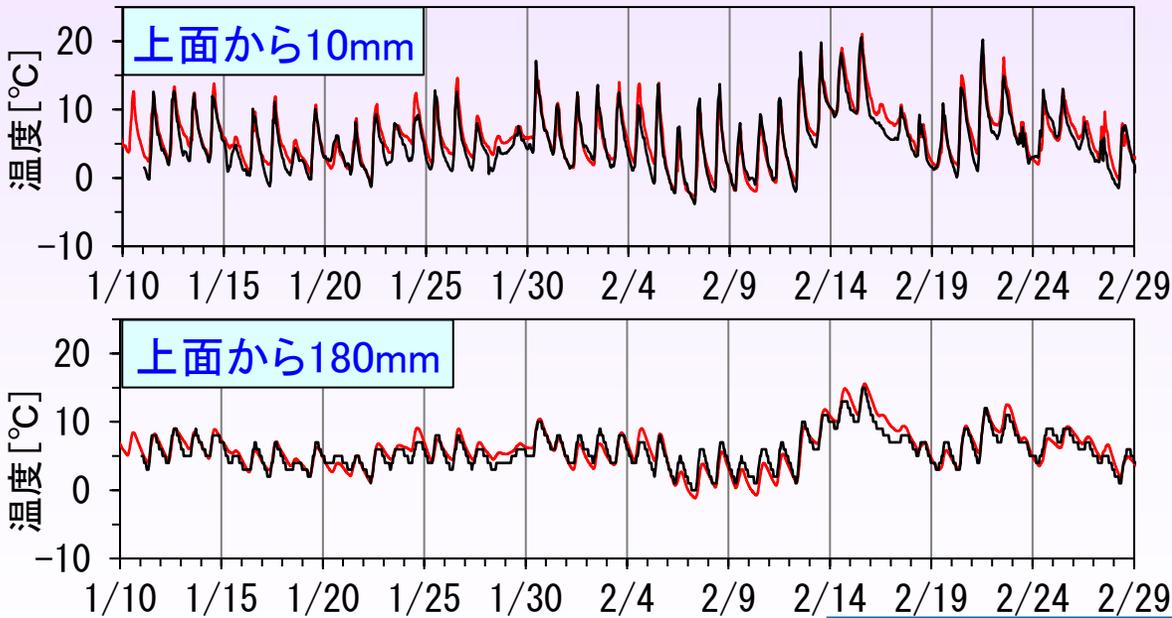


# 試験結果（温度比較）

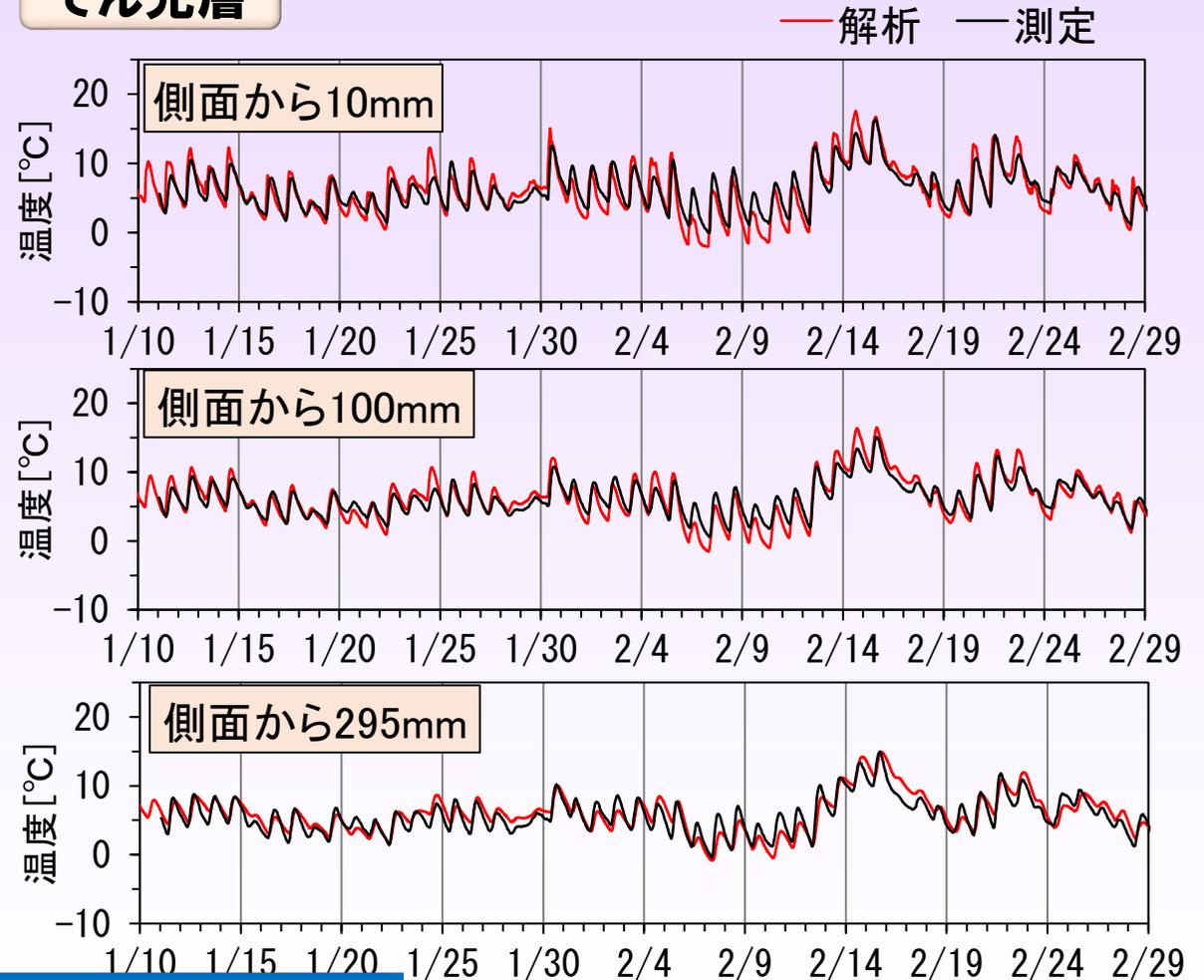
- 軌道スラブ測点
- ◆ てん充層測点



## 軌道スラブ



## てん充層



実測値を概ね再現できた

# 発表内容

Agenda

1 研究の背景・目的

2 スラブ軌道断面の温度解析モデル

3 解析精度の検証試験

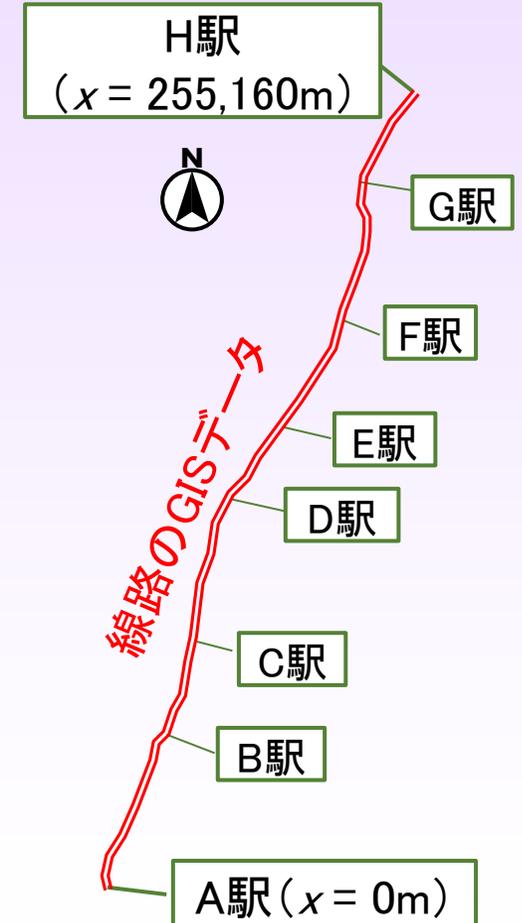
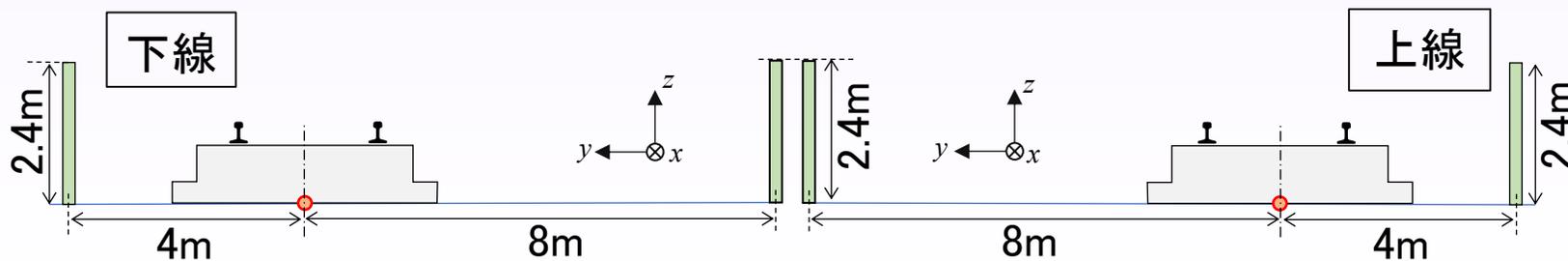
**4 営業線の凍結融解シミュレーション**

5 まとめ

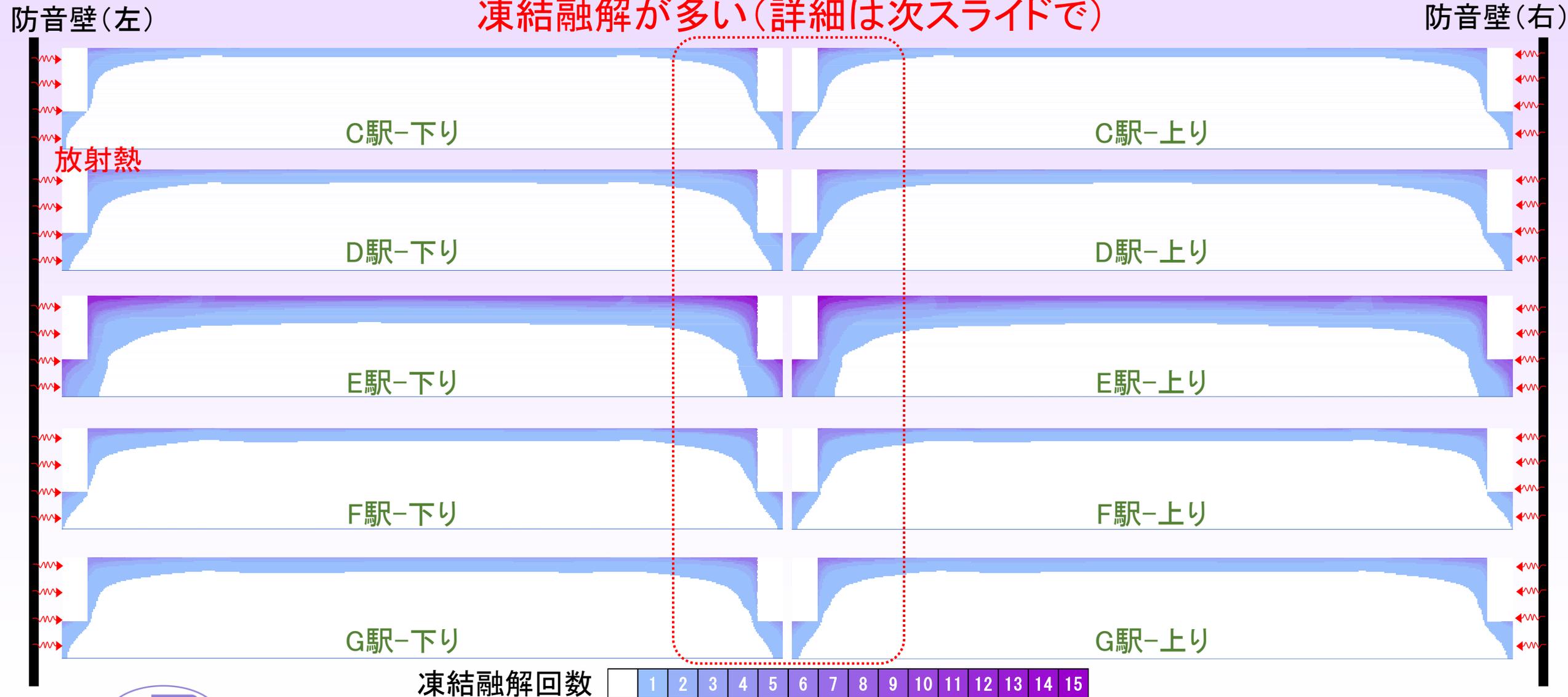
# 解析の実施概要

## 凍結融解の回数を、線路長手方向、左右(防音壁側、線間側)で比較

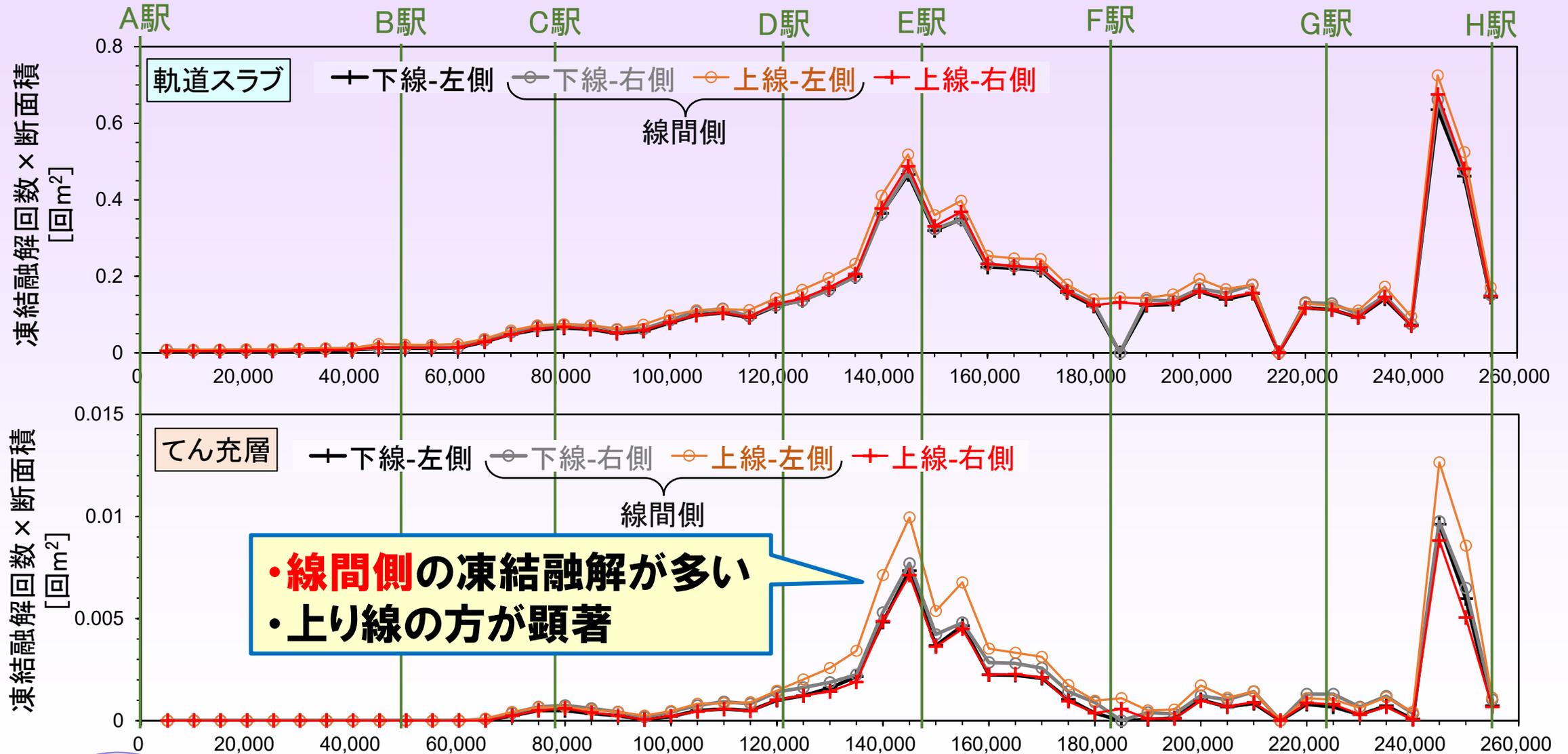
- 解析区間: 営業線 上下線(延長約 255 km) ※ 解析は5km毎
- 解析日時: 2019/12/1~2/29 (91日間)
- 解析パラメータ: 前述と同じ
  - ※気象データは位置毎に参照する気象メッシュが異なる
- 地形や樹木等の地物は考慮しない。全て明かり区間とする。
- 防音壁と軌道の位置関係は全区間で同じ



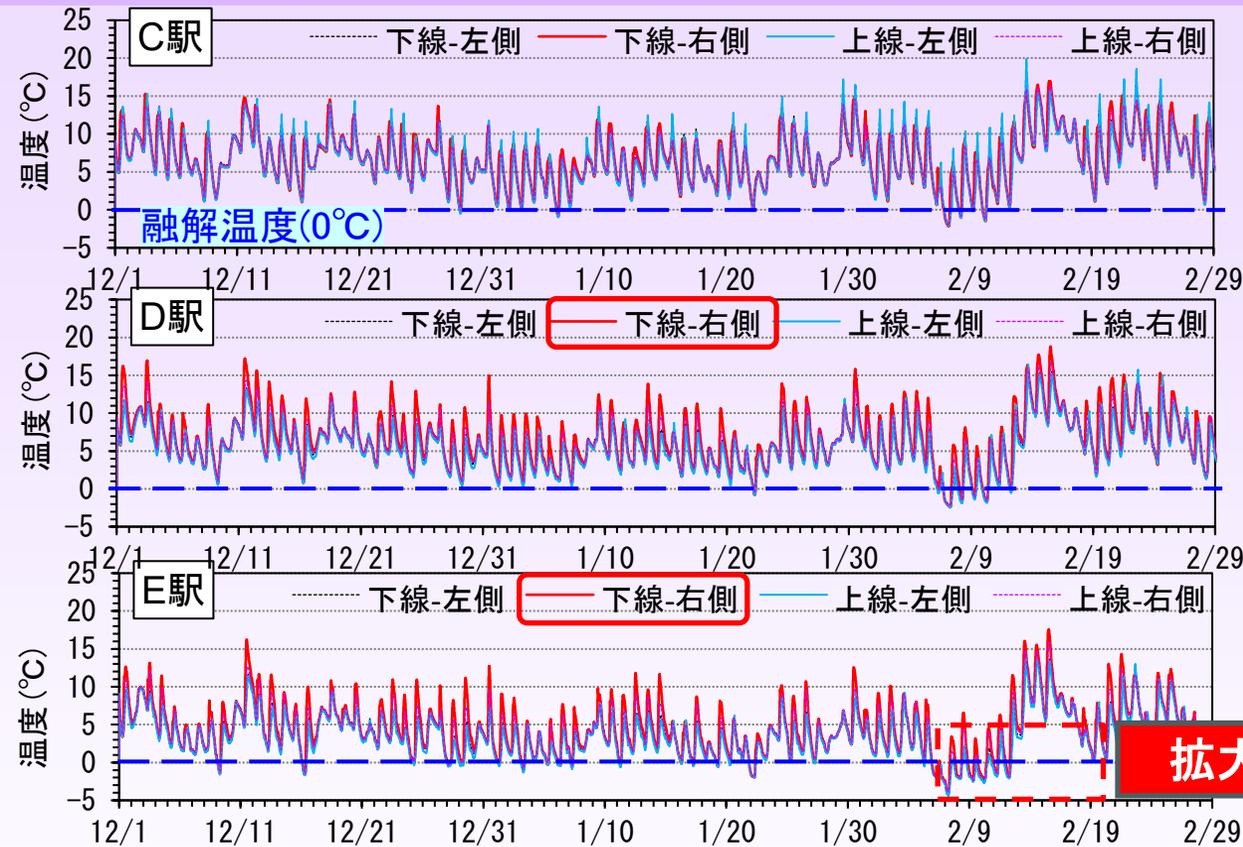
# 解析結果（凍結融解回数断面分布）



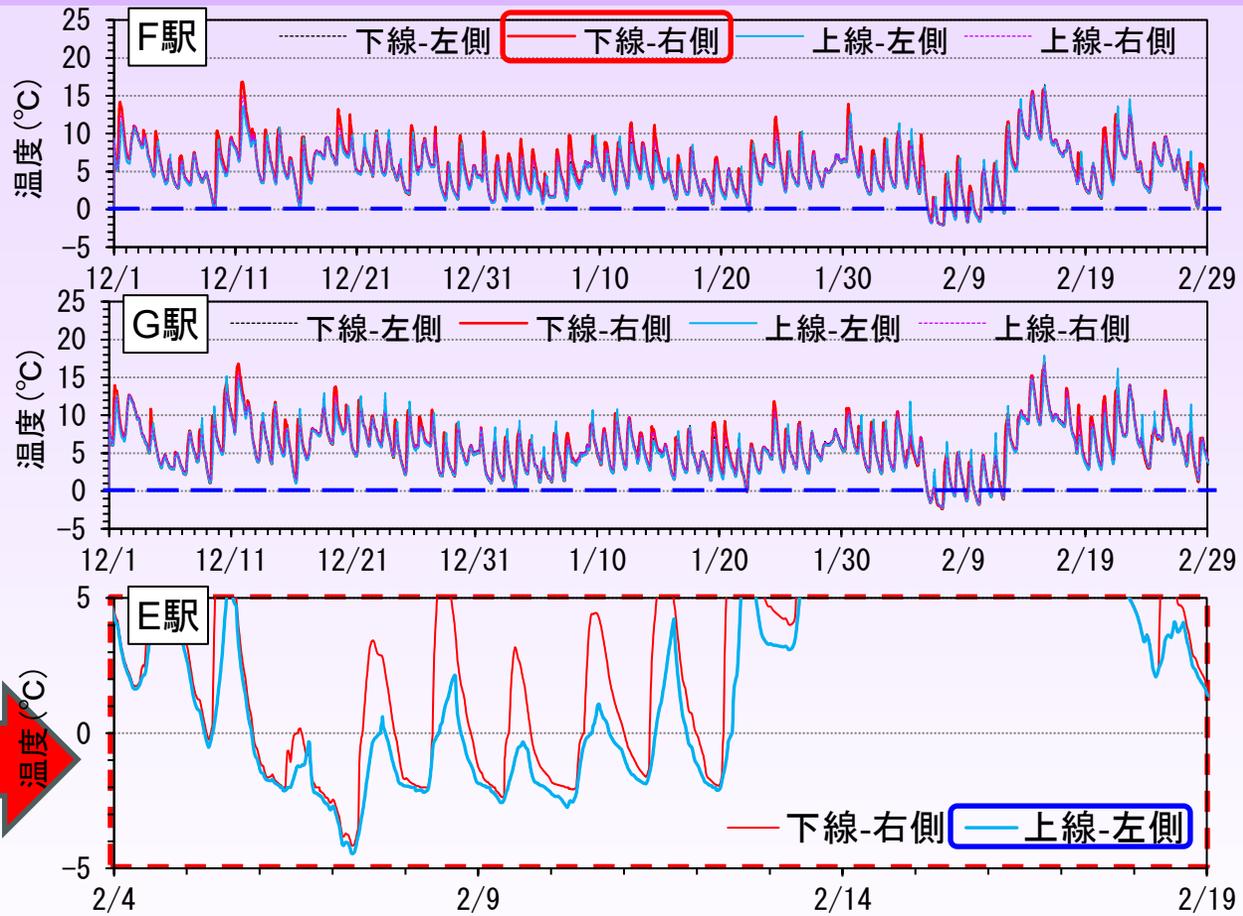
# 解析結果（凍結融解回数×断面積）



# てん充層の表面付近の温度比較



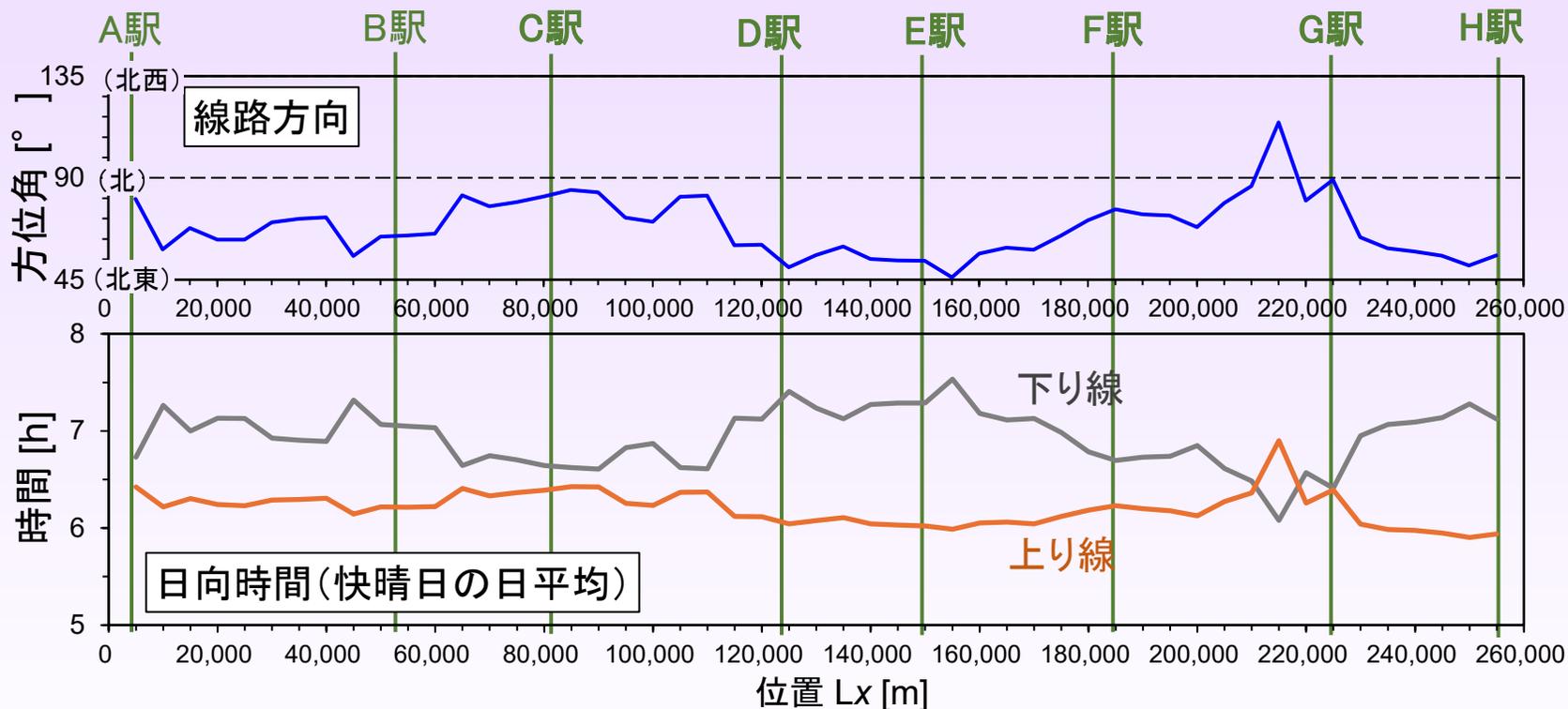
- ・ 昼間は融解温度を上回る→凍結に依存
- ・ 最高温度は下線-右側が最も高い  
(日当たりが良いため?)



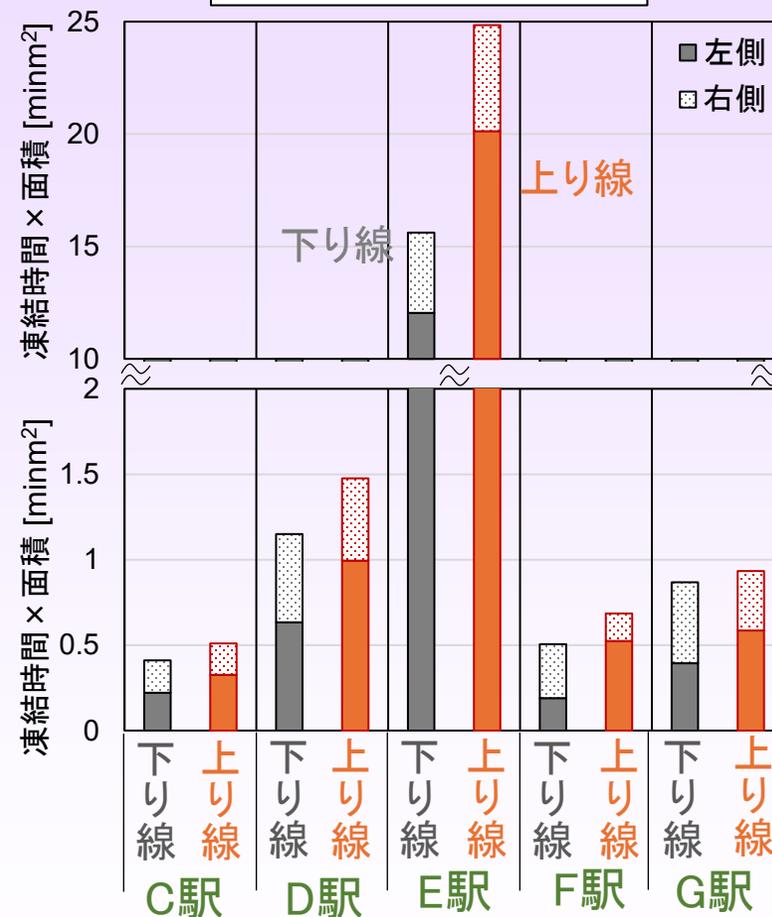
- ・ 最低温度は上線-左側が最も低い  
→凍結しやすい(日当たりが悪いため?)

# 日当たりと凍結の関係

日向時間(軌道中心が防音壁の陰にならない時間)



凍結時間×面積



**日向時間が長い下り線の方が、凍結時間が短い  
→ 昼間の日射は、夜間の凍結を低減させる**

# 発表内容

Agenda

1 研究の背景・目的

2 スラブ軌道断面の温度解析モデル

3 解析精度の検証試験

4 営業線の凍結融解シミュレーション

5 まとめ

# まとめ

## ◆ 解析モデルについて

- スラブ軌道の断面温度、凍結融解の回数を、防音壁等の陰による日射の差を加味して解析可能なプログラムを開発した。
- スラブ軌道断面の温度測定結果との比較より、解析精度を確認した。

## ◆ 営業線の凍結融解シミュレーションの結果

- 今回の気象条件下では、凍結融解には凍結しやすさが重要。
- 防音壁の放射熱と昼間の日射は、夜間の凍結を低減させる。

 日当たりが悪い上り線の線間側の凍結融解回数が最も多くなった。

# 成果の活用

- ◆ スラブ軌道を新設、てん充層を補修する際に、耐凍害性を有する材料が必要かを判断する目安として活用。
- ◆ スラブ軌道の凍害危険箇所抽出(凍害危険度マップ)。
- ◆ PCまくらぎの凍害予測・評価への適用。

# 参考文献

1. [浦川文寛, 渡辺勉: 周辺地物からの放射熱を考慮した夜間のレール温度予測法の開発, 鉄道総研報告, Vol. 38, No. 3, pp. 25-33, 2024](#)
2. [浦川文寛, 渡辺勉, 木村成克: GISデータを使用した広域レール温度予測法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.4, pp. 53-58, 2020](#)
3. [浦川文寛, 渡辺勉: 地形・建物データと気象予報情報からレール温度を予測する, RRR, Vol. 78, No. 3, pp. 12-15, 2021](#)