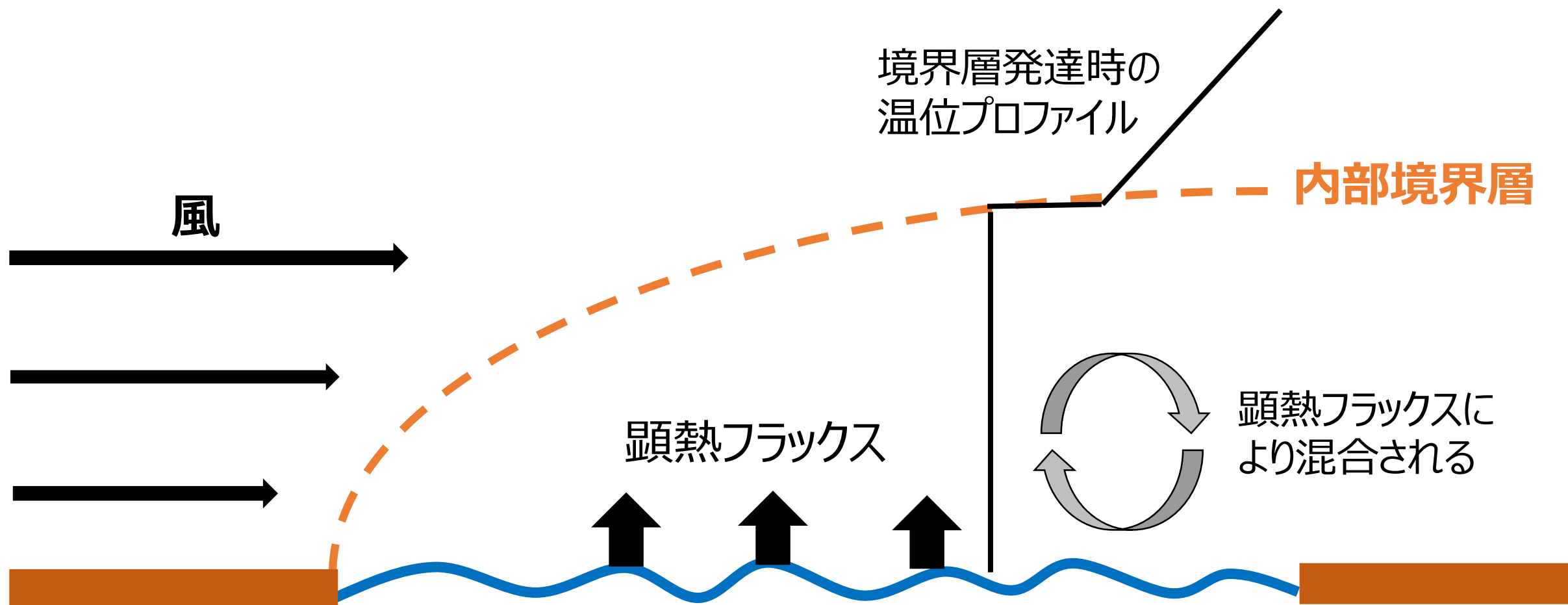


日中における諏訪湖上の内部境界層の発達

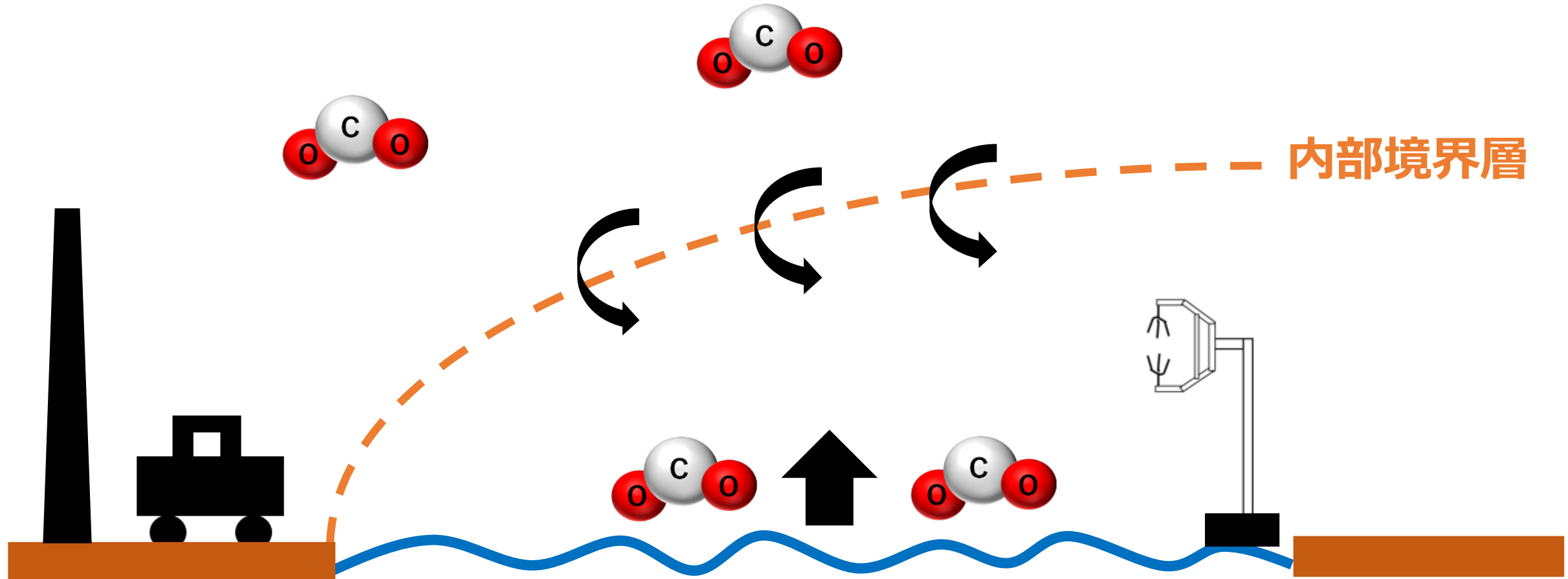
中島望（岩田研究室）

はじめに

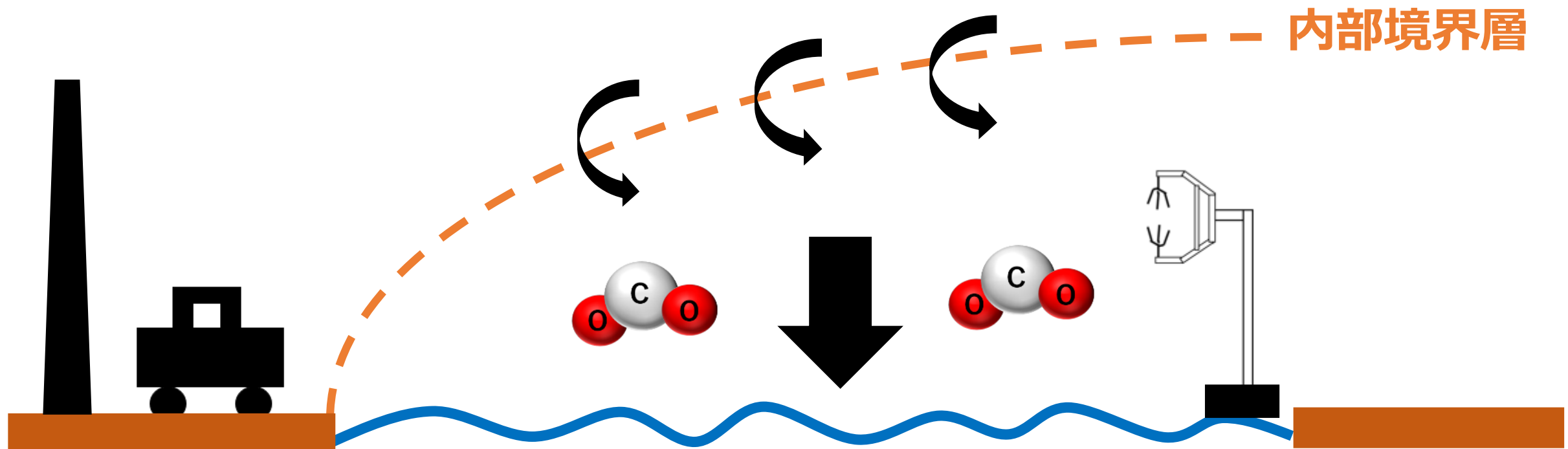


地表面特性（粗度長，地表面温度）が不連続に変化した後の風下側の地表面の影響を受けて徐々に発達する層

はじめに



エントレインメント（境界層上気を取り込み現象）によって湖表面へと輸送される
夜間に下向きCO₂輸送（吸収）が観測されている（落合, 2020）



エントレインメント（境界層上気を取り込み現象）によって湖表面へと輸送される
夜間に下向きCO₂輸送（吸収）が観測されている（落合, 2020）

はじめに

この現象は湖上での渦相関法による湖面－大気間のガス交換測定に影響を及ぼす可能性があり、内部境界層の理解が精度向上への第一歩となる。

本研究の目的

- ドローンによって諏訪湖上の温湿度プロファイルを測定し、内部境界層の特徴を明らかにする。
- 数値モデルを作成し、内部境界層の発達の再現を行う。

方法（観測サイトと観測項目）



(OpenStreetMap, 国土数値情報より引用)

方法（観測サイトと観測項目）

観測サイト：諏訪湖（長野県）

- ・面積 13.3 km²
- ・平均水深 4 m
- ・標高 759 m

観測項目

- ・フラックス：渦相関法にて観測
（顕熱・潜熱フラックス）
- ・気象データ
（気温，水蒸気圧，相対湿度，
風速，放射など）



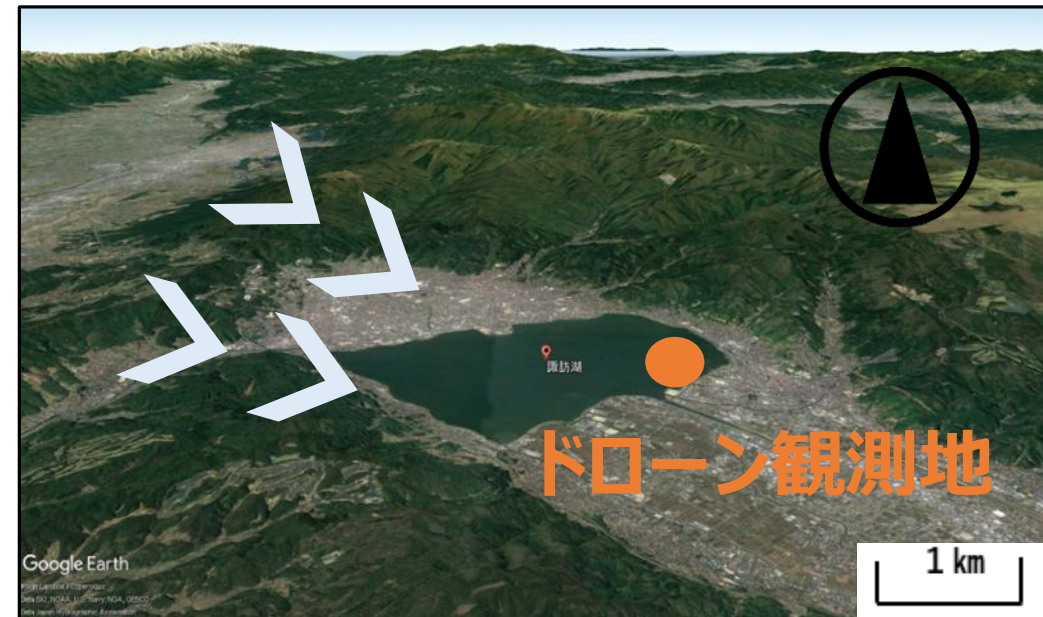
方法（ドローン観測）

ドローン観測

- 観測機器：ドローン（DJI社製 Phantom 4 PRO）
温湿度センサー（InterMet社製 iMet-XQ2）
温度，相対湿度，気圧，高度を
1秒に1回観測
- 天候：降水なし，西寄りの風（湖西端から
発達する内部境界層を対岸にて観測）
- ドローンの飛行条件：上昇速度約 1 ms^{-1}
最高到達点300 m

観測日

- ・6月19日（9時から12時まで30分おき）
- ・9月13日（9時から17時まで1時間おき）
- ・10月12日（7時から17時まで1時間おき）
- ・11月16日（7時から13時まで1時間おき）

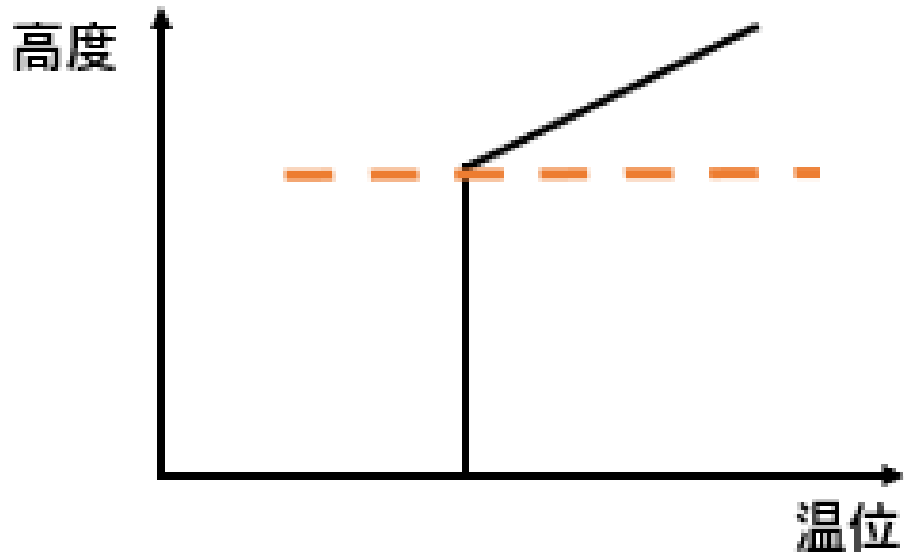


方法（内部境界層高度の特定）

内部境界層高度の特定

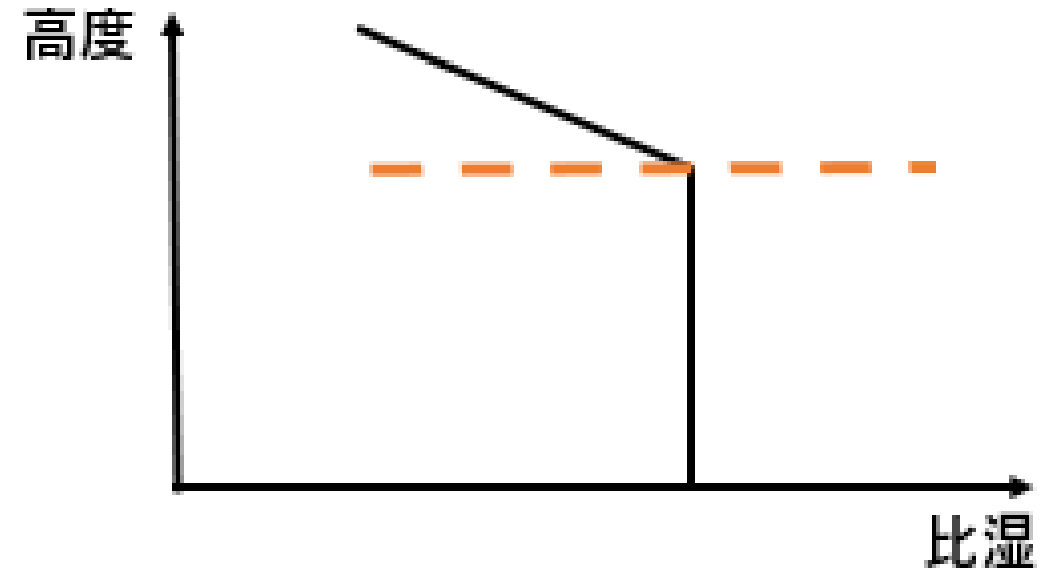
- ①目視で決定・・・緩い勾配となる所を内部境界層とする
- ②閾値を用いて決定・・・連続する2高度の観測値の差から求める

温位プロファイル



連続する2高度の観測値の差
 $> 0.01 \text{ (K)}$

比湿プロファイル



連続する2高度の観測値の差
 $< -1.7 \times 10^{-5} \text{ (kg/kg)}$

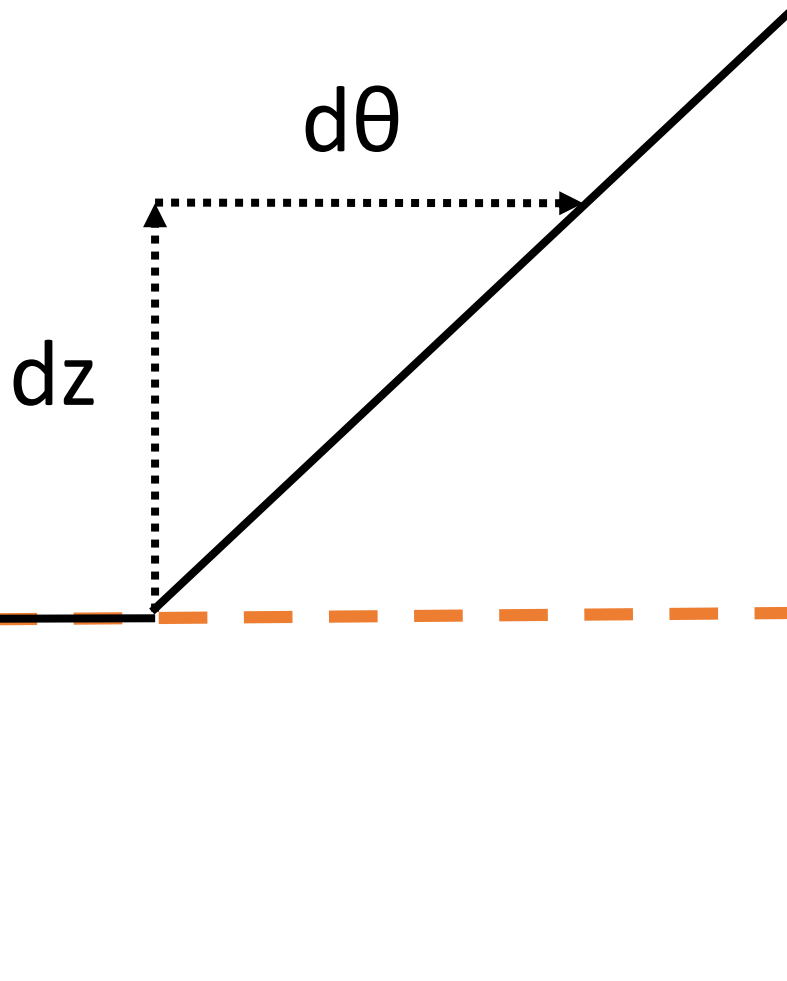
方法（温位勾配）

内部境界層上空の温位勾配・・・上空の大気の安定度を表す

$$\frac{d\theta}{dz} = \frac{\theta_{70} - \theta_1}{Z_{70} - Z_1}$$

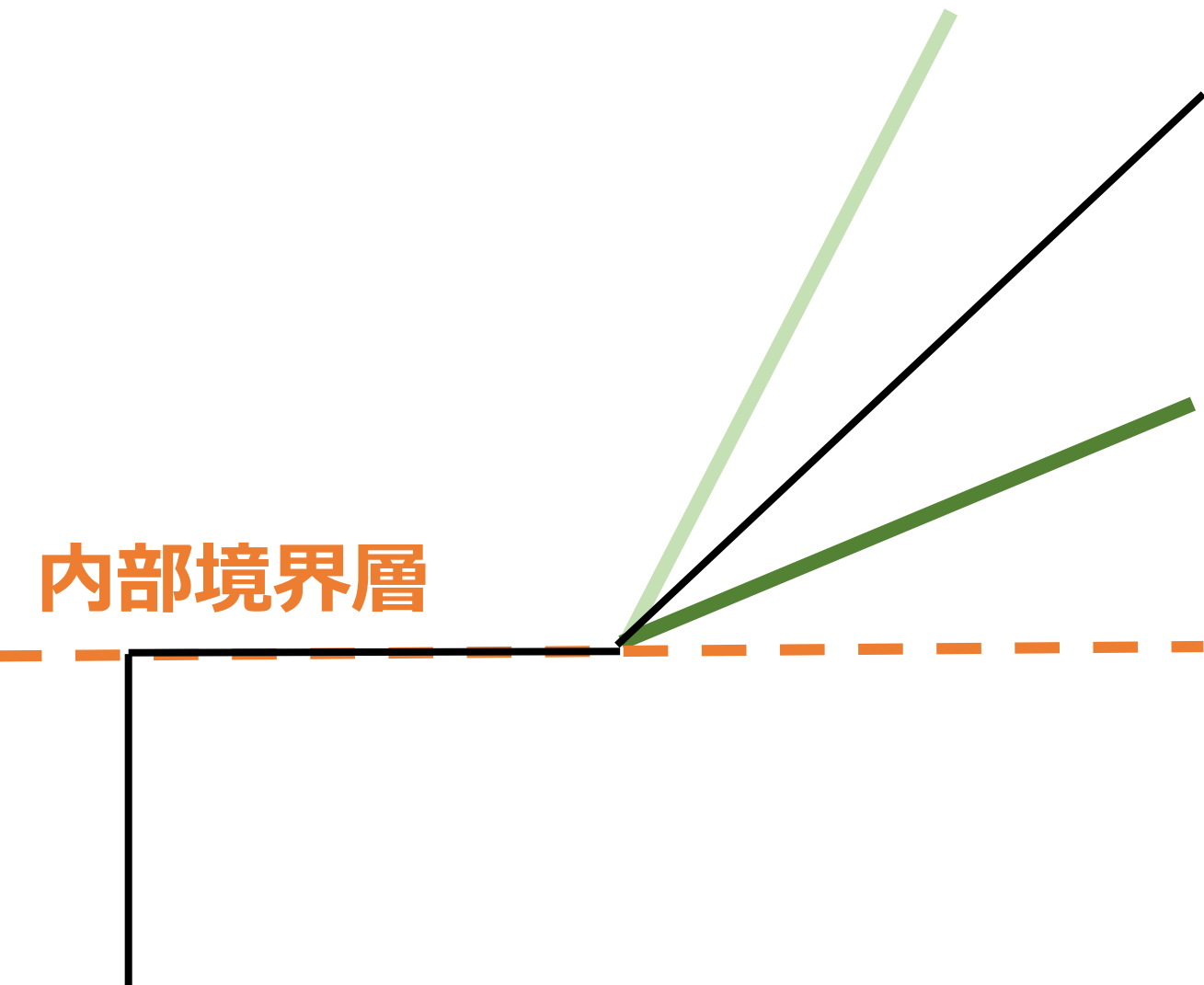
（上端から70 mまでを計算）

内部境界層



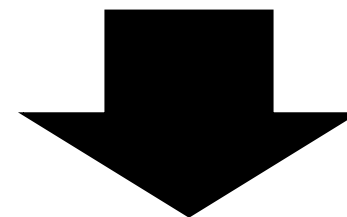
方法（温位勾配）

内部境界層上空の温位勾配・・・上空の大気の安定度を表す



$$\frac{d\theta}{dz} = \frac{\theta_{70} - \theta_1}{Z_{70} - Z_1}$$

(上端から70 mまでを計算)

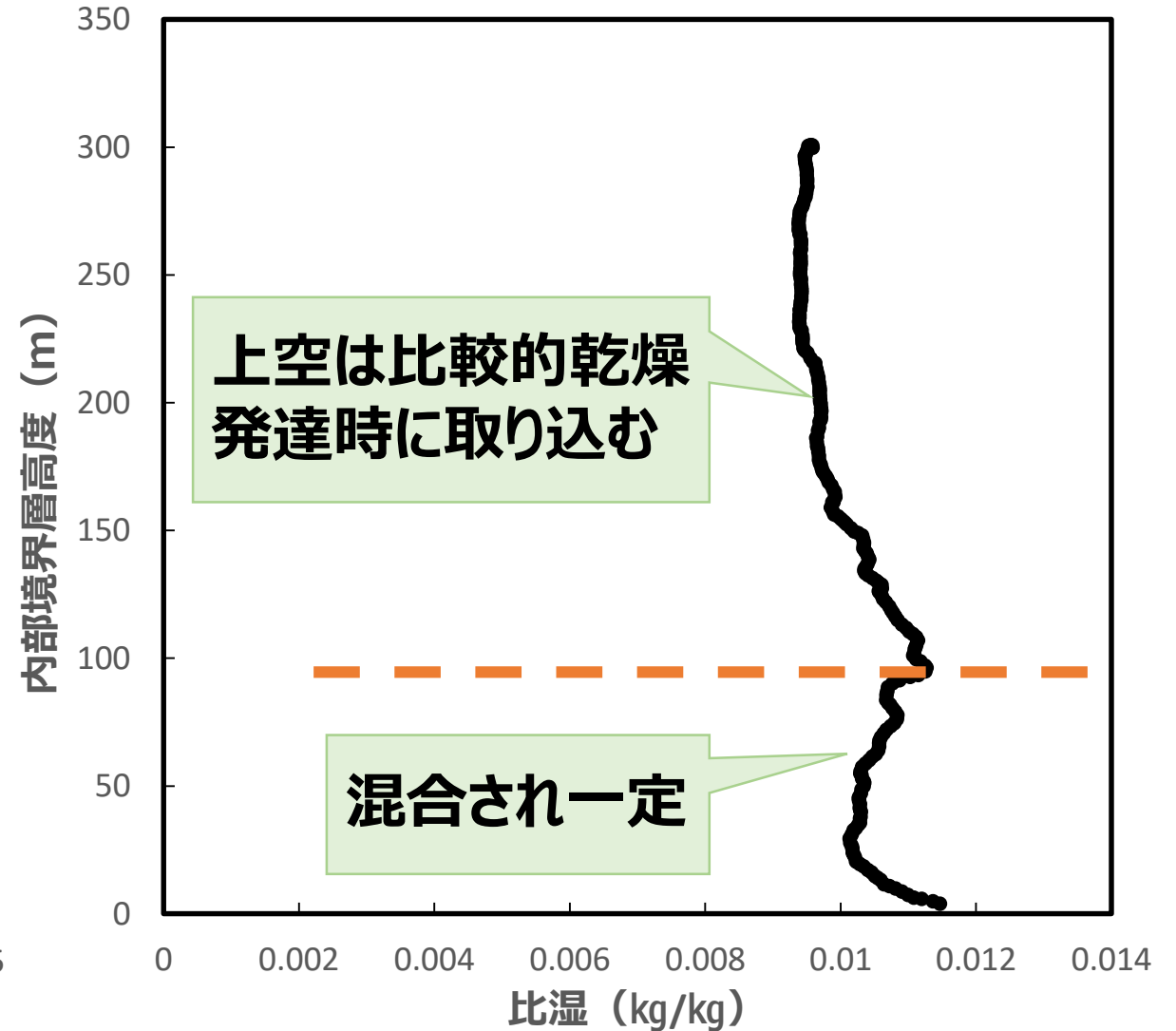
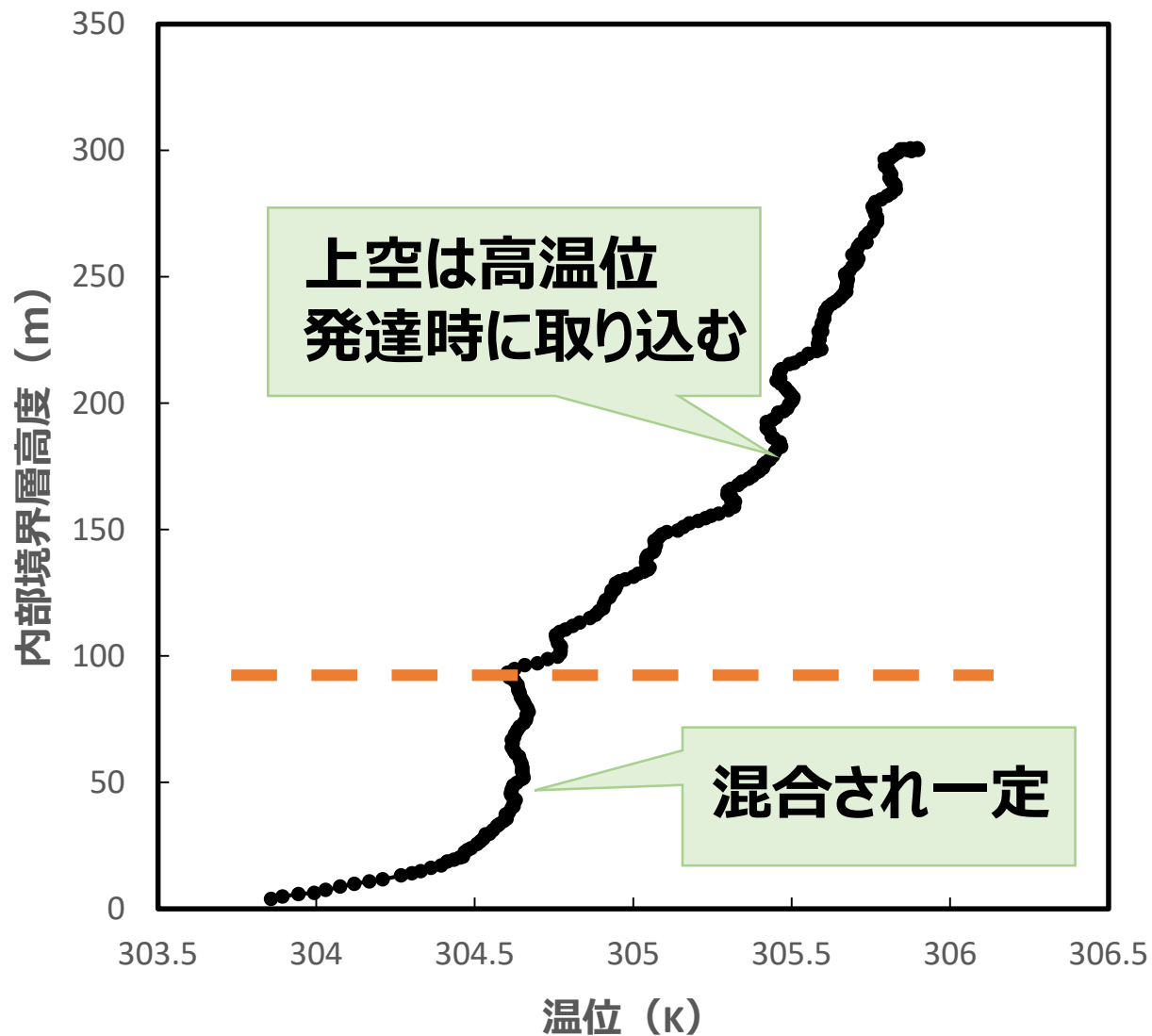


安定度が強い

安定度が弱い

結果（内部境界層高度の決定：実例）

■ 温位・比湿プロファイルの例（6月19日 午前11時）



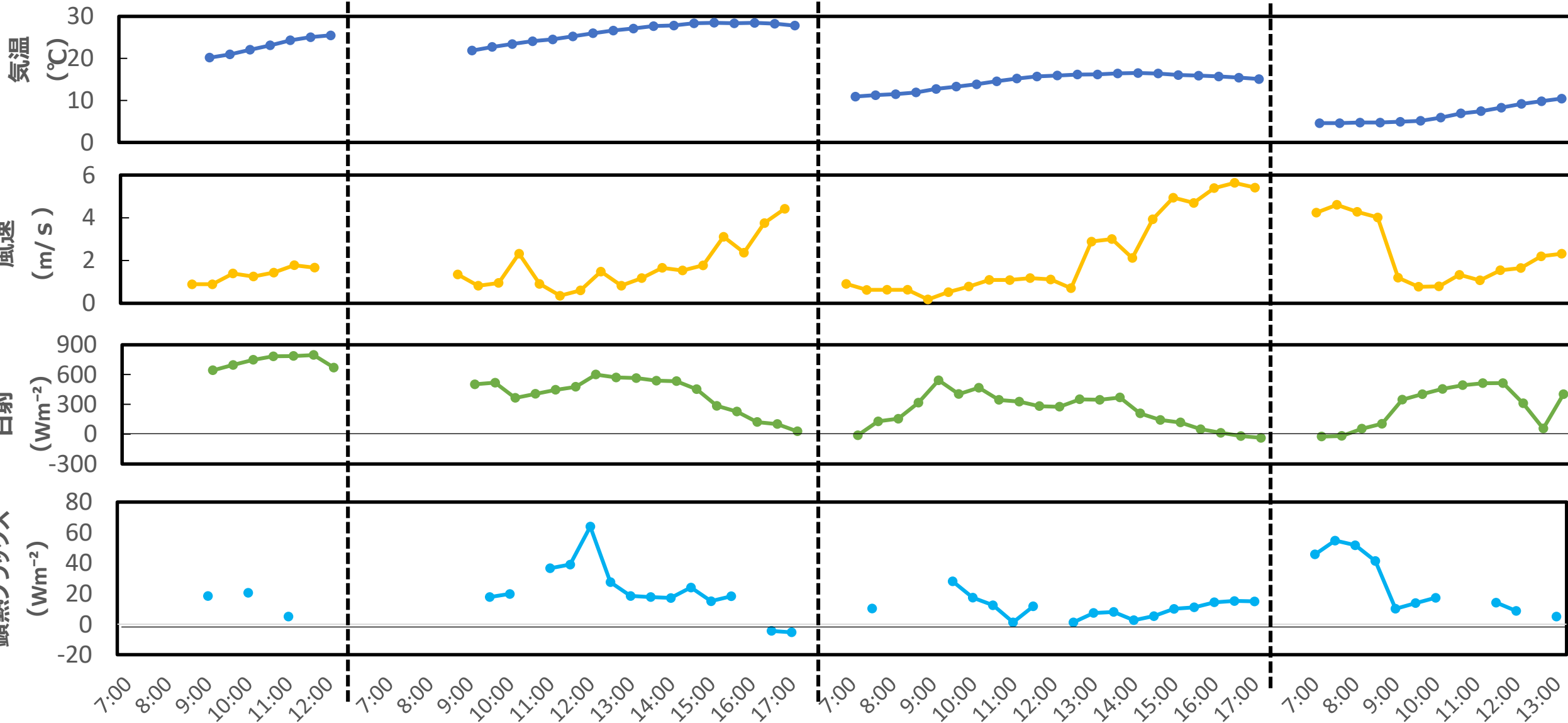
結果 (気象の日変化)

6月19日

9月13日

10月12日

11月16日

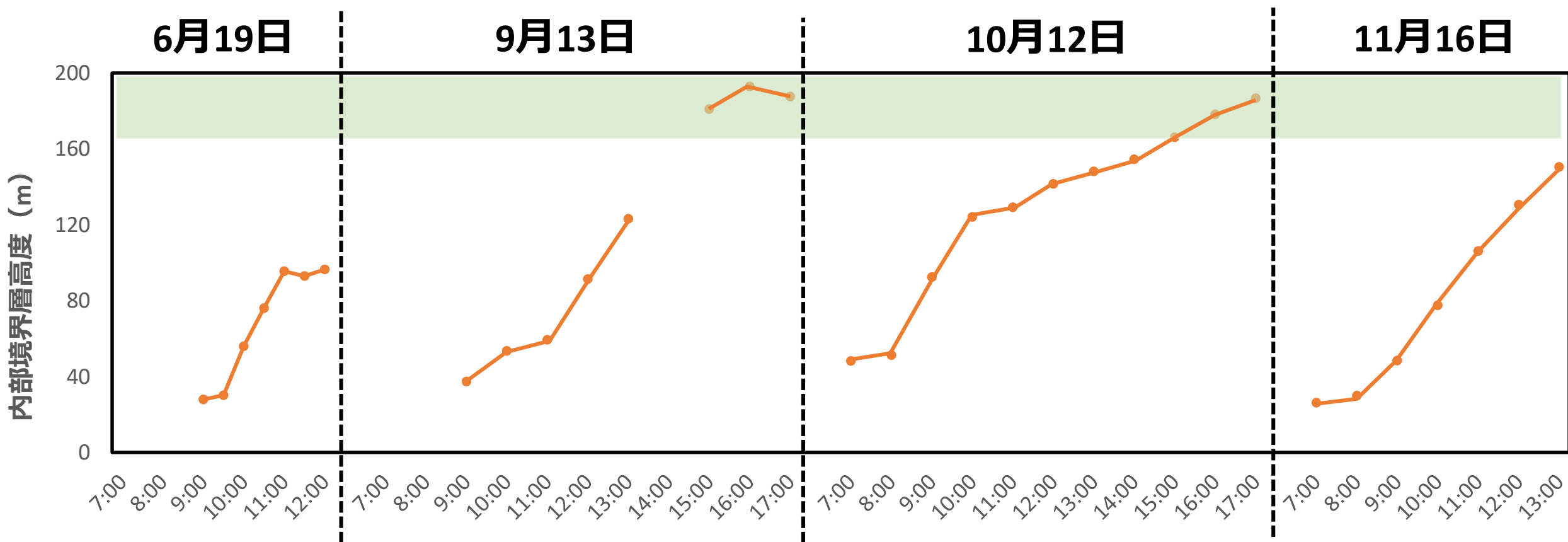


結果（内部境界層高度の日変化）

共通点：日中に成長し，17時頃には200 m近くまで成長する

相違点①：急激な成長をする日と単調的な成長をする日が存在する

相違点②：正午時点において10月12日，11月16日は他の観測日より大きく成長

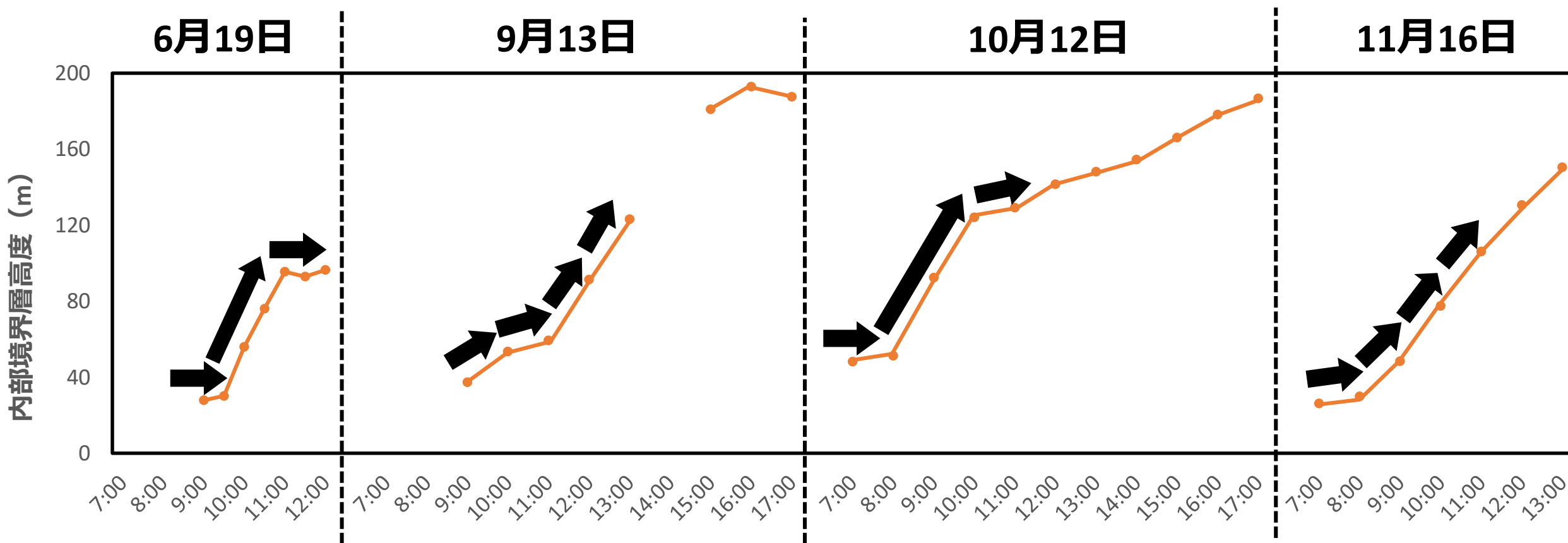


結果（内部境界層高度の日変化）

共通点：日中に成長し，17時頃には200 m近くまで成長する

相違点①：急激な成長をする日と単調的な成長をする日が存在する

相違点②：正午時点において10月12日，11月16日は他の観測日より大きく成長

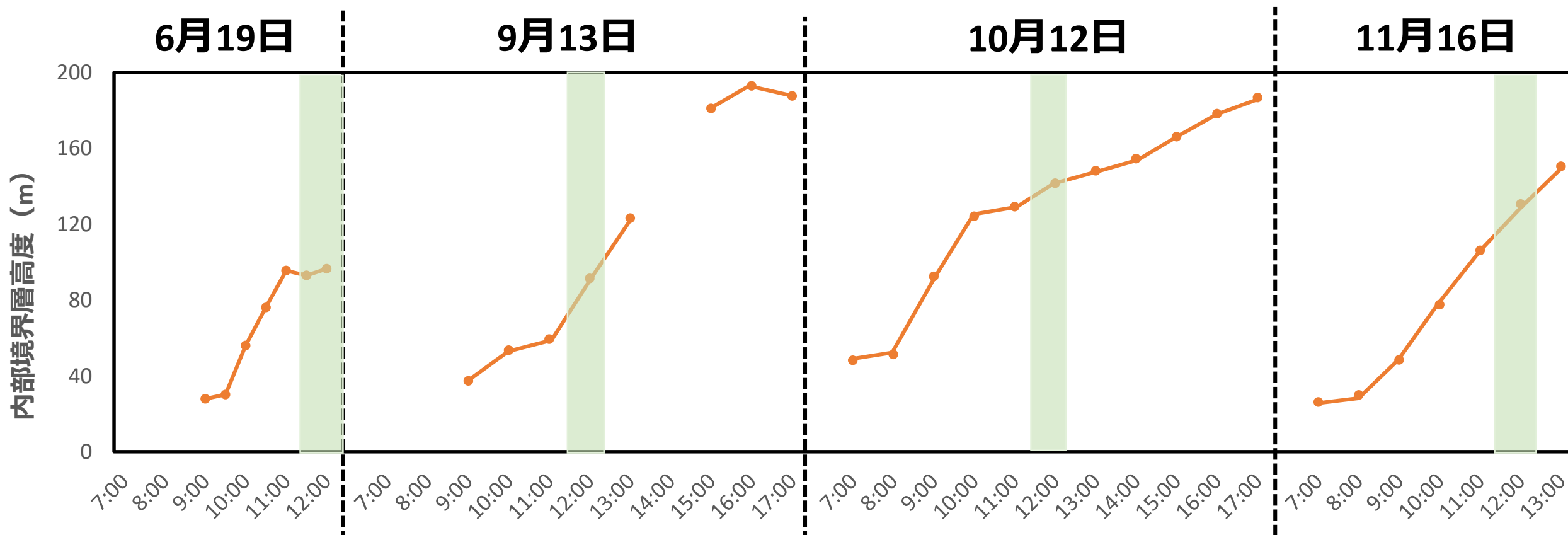


結果（内部境界層高度の日変化）

共通点：日中に成長し，17時頃には200 m近くまで成長する

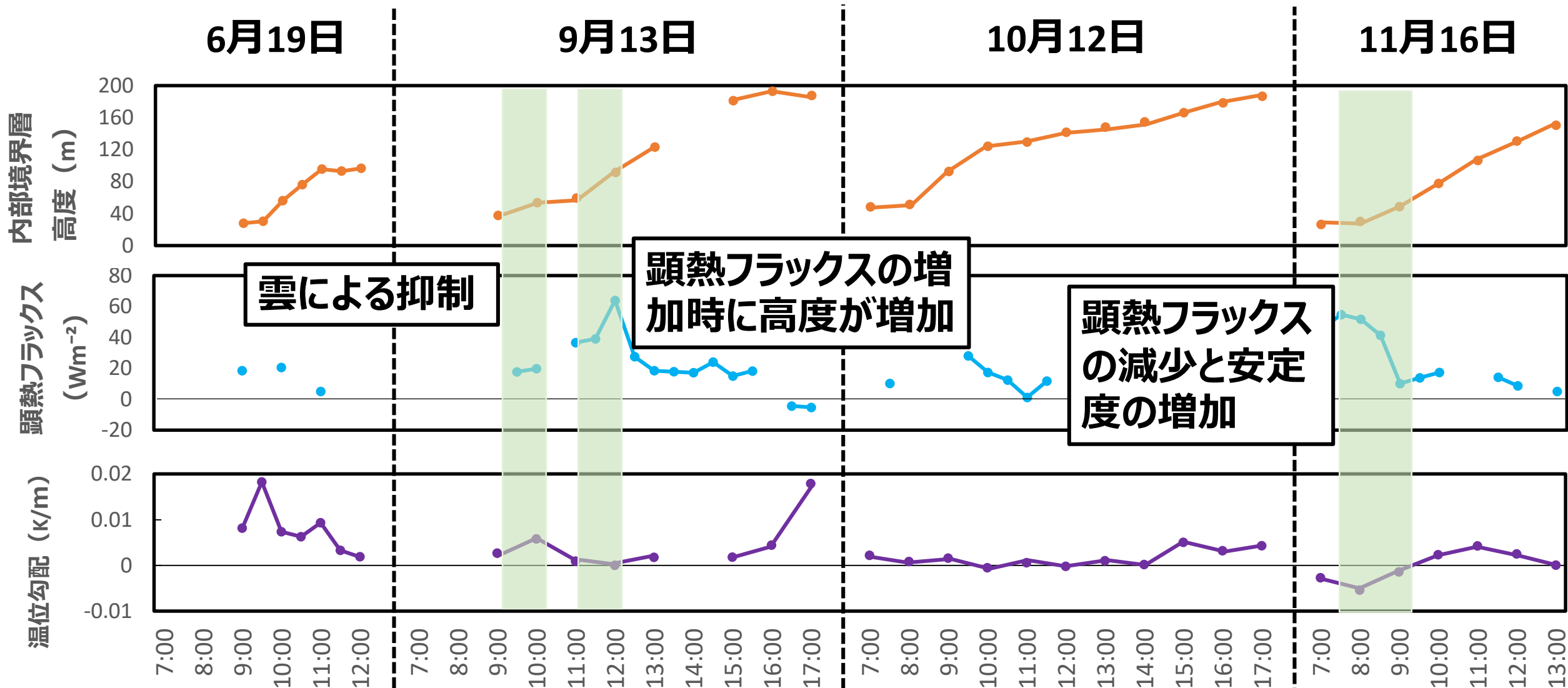
相違点①：急激な成長をする日と単調的な成長をする日が存在する

相違点②：正午時点において10月12日，11月16日は他の観測日より大きく成長



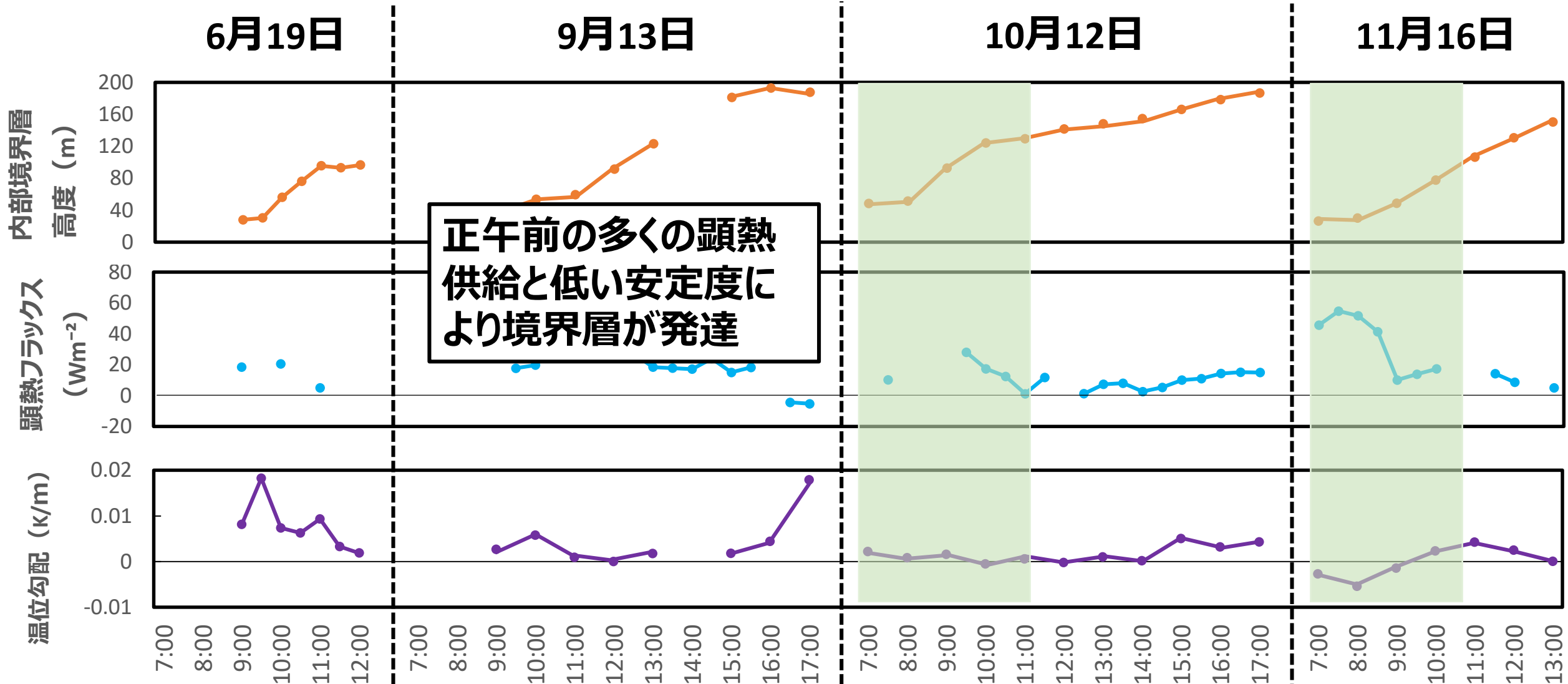
結果（内部境界層高度， 関連する気象の日変化）

相違点①：急激な成長をする日と単調的な成長をする日が存在する



結果（内部境界層高度， 関連する気象の日変化）

相違点②：正午時点において10月12日， 11月16日は他の観測日より大きく成長



方法（モデルの概要）

概要：内部境界層を一層で表現し，モデル中では湖表面からの顕熱供給により成長し，境界層内の地表面フラックスとエントレイメントフラックスの変化を考慮する

■ 内部境界層の高度

$$\partial h / \partial t = \{ \beta \times (\overline{w'\theta'})_s \} / \Delta\theta$$

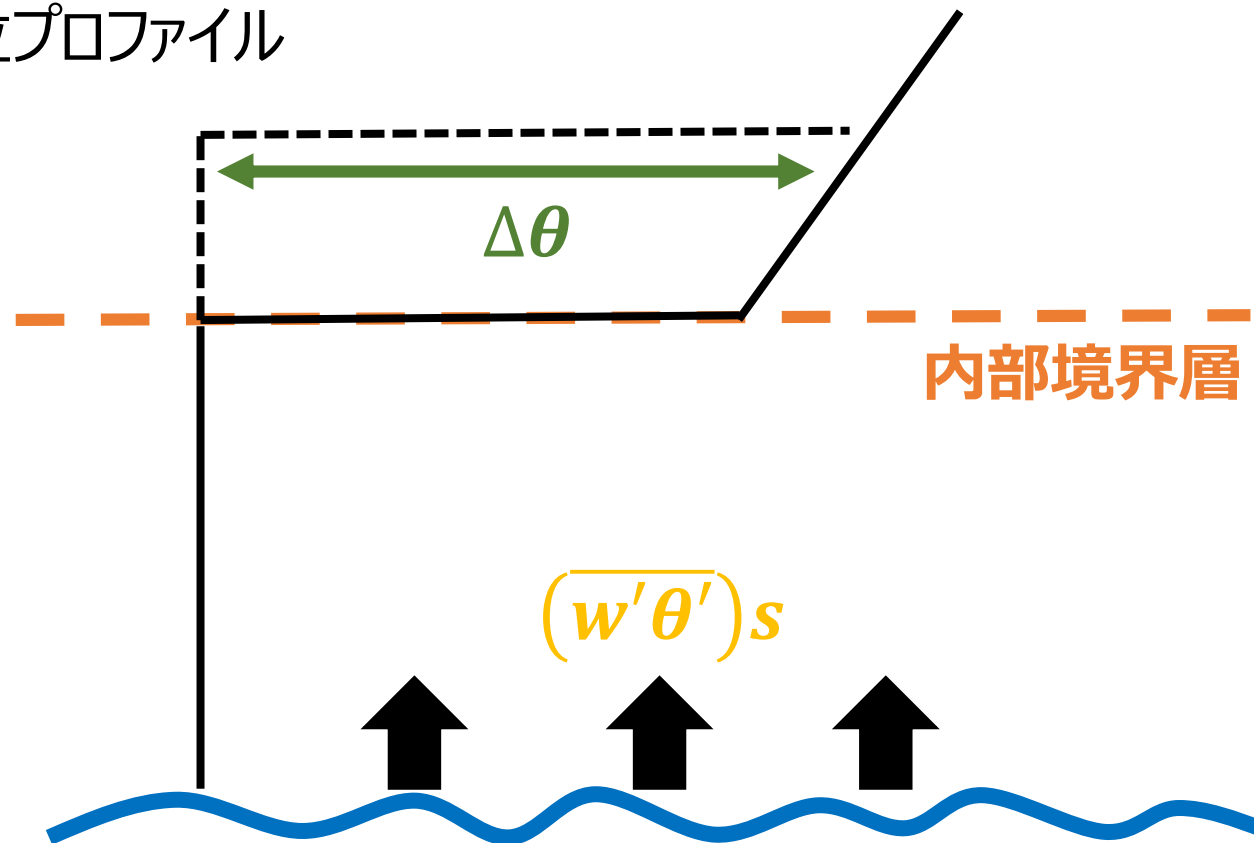
$(\overline{w'\theta'})_s$: 表面顕熱フラックス

β : 表面顕熱フラックスに対する
エントレイメントフラックスの比率

$\Delta\theta$: (境界層上端の温位) - (境界層内の温位)

(Vila- Guerau de Arellano et al, 2015より)

成長後の
温位プロファイル



方法（モデルの概要）

概要：内部境界層を一層で表現し，モデル中では湖表面からの顕熱供給により成長し，境界層内の地表面フラックスとエントレイメントフラックスの変化を考慮する

■ 内部境界層の高度

$$\partial h / \partial t = \{ \beta \times (\overline{w'\theta'})_s \} / \Delta\theta$$

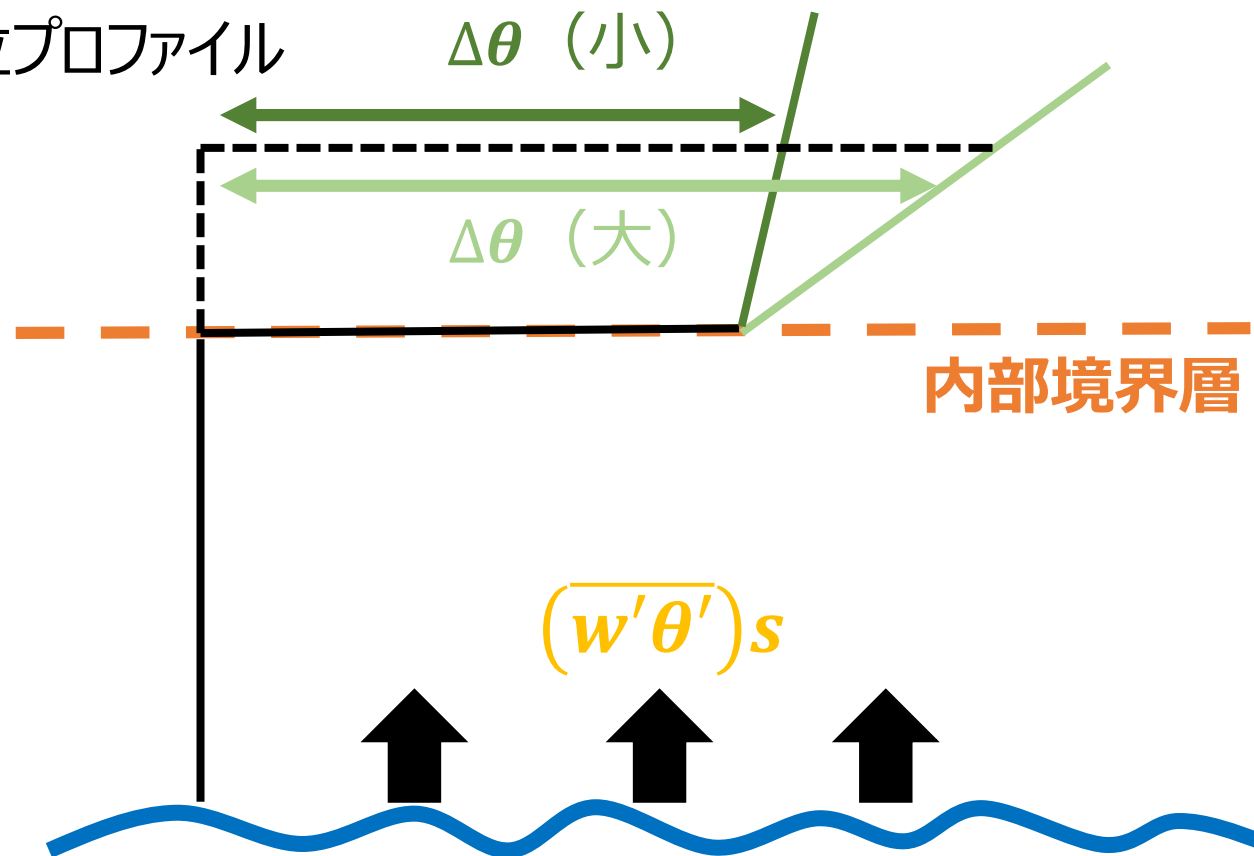
$(\overline{w'\theta'})_s$: 表面顕熱フラックス

β : 表面顕熱フラックスに対する
エントレイメントフラックスの比率

$\Delta\theta$: (境界層上端の温位) - (境界層内の温位)

(Vila- Guerau de Arellano et al, 2015より)

成長後の
温位プロファイル



方法（モデルの概要）

■ 内部境界層内の温位

$$\partial\theta m/\partial t = \{(\overline{w'\theta'})_s - (\overline{w'\theta'})_e\}/h$$

$(\overline{w'\theta'})_e$: エントレインメントフラックス

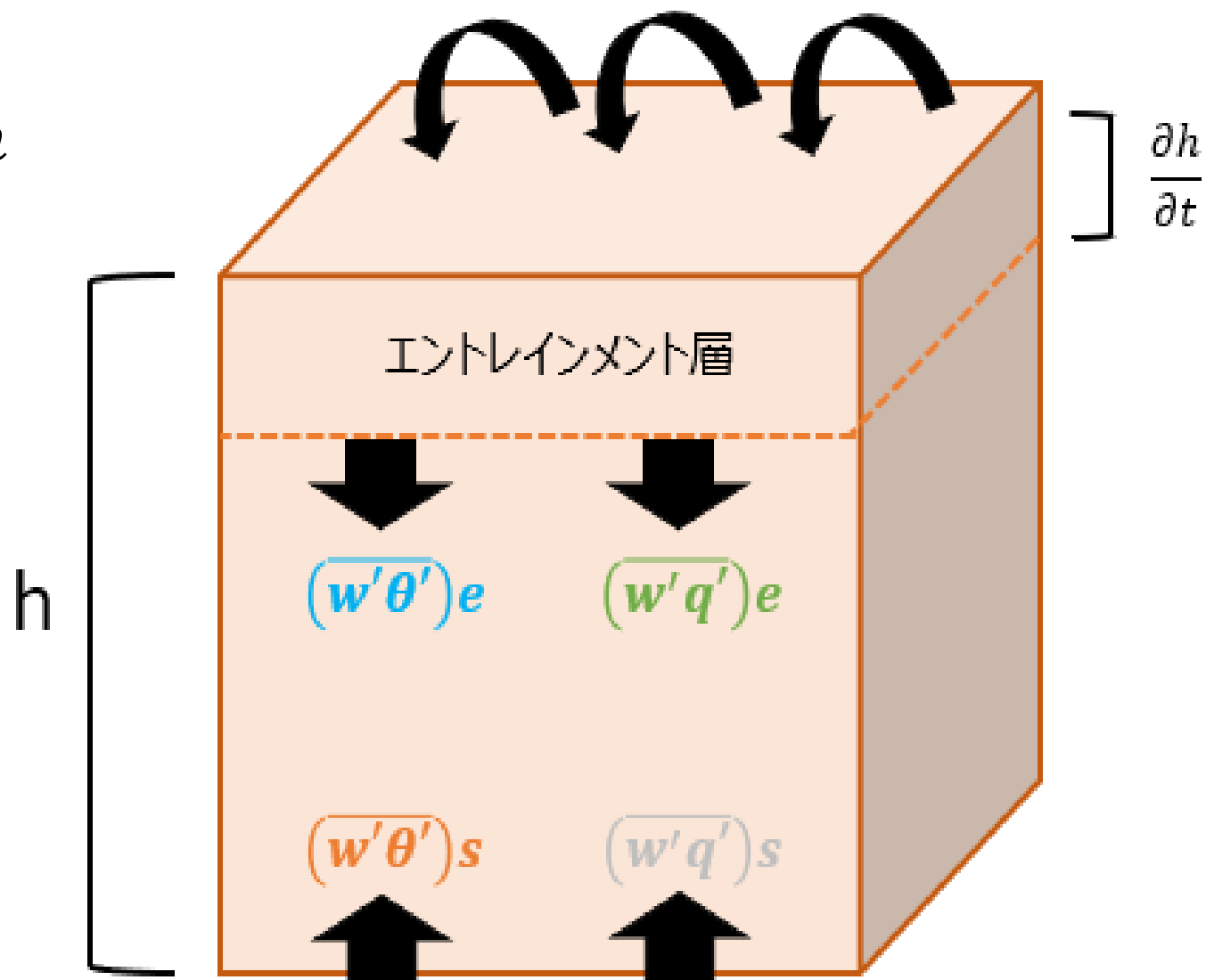
■ 内部境界層内の比湿

$$\partial q/\partial t = \{(\overline{w'q'})_s - (\overline{w'q'})_e\}/h$$

$(\overline{w'q'})_s$: 表面水蒸気フラックス

$(\overline{w'q'})_e$: エントレインメント水蒸気フラックス

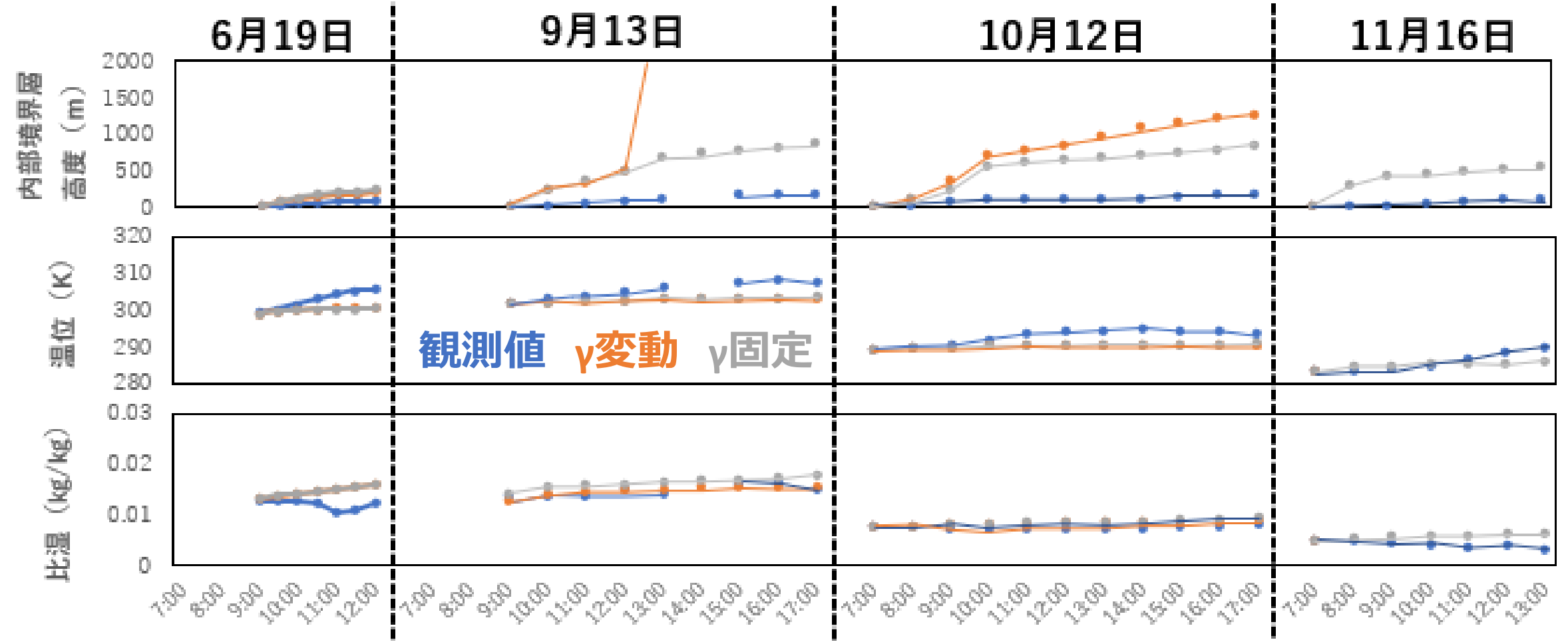
※境界層内の温位・比湿は地表面から境界層上端までの平均値



(Vila- Guerau de Arellano et al, 2015より)

結果（モデルによる再現結果）

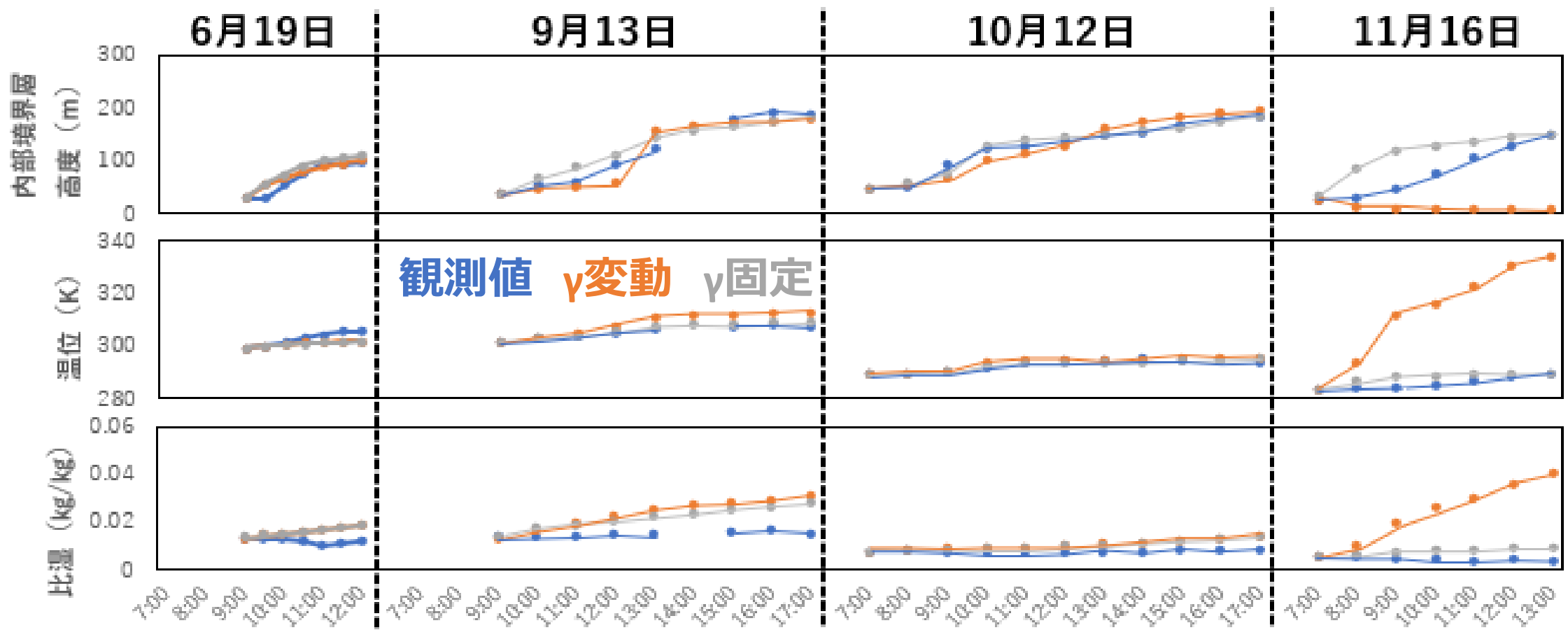
■ 再現結果



モデル中では境界層の過度の成長によって、地表面・エントレインメントフラックスの影響が小さくなったことが考えられる

結果（モデルによる再現結果）

■ 再現結果（上空の温位勾配を大きくする）



実際よりも上空の温位勾配を大きくすることで境界層高度再現性が高まった



成長を制限している要因は何かあるが、まだ分かっていない

内部境界層の特徴

- 内部境界層高度は、日中に成長し、200m近くまで成長した。
- 内部境界層の成長は、主に顕熱フラックス、上空の大気の安定度が関係していた。

本研究の改善点

- 内部境界層の成長を制限している要因があると考えられるが、その解明にはさらなる調査が必要である。