

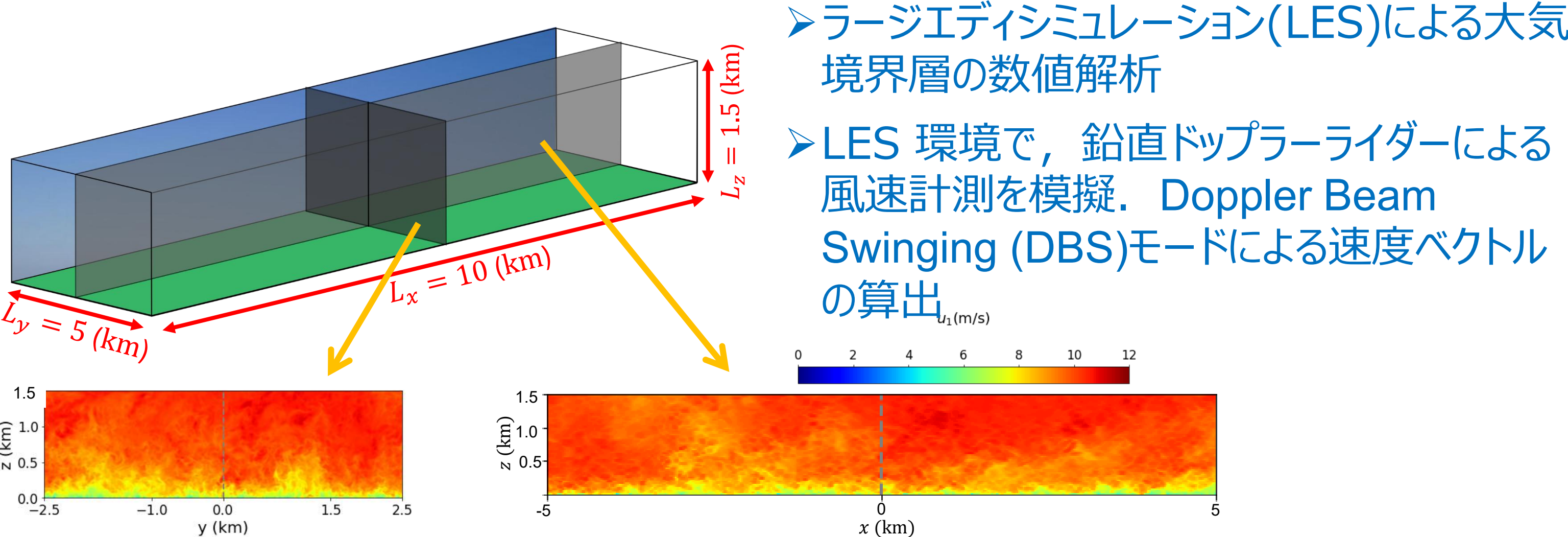
N E D O 先導研究プログラム／エネルギー・環境分野における革新的技術の国際共同研究開発
複雑地形上におけるドップラーライダーによる乱流計測の国際共同研究開発

団体名：学校法人足利大学、学校法人近畿大学
発表日：2026年7月21日

事業の目的

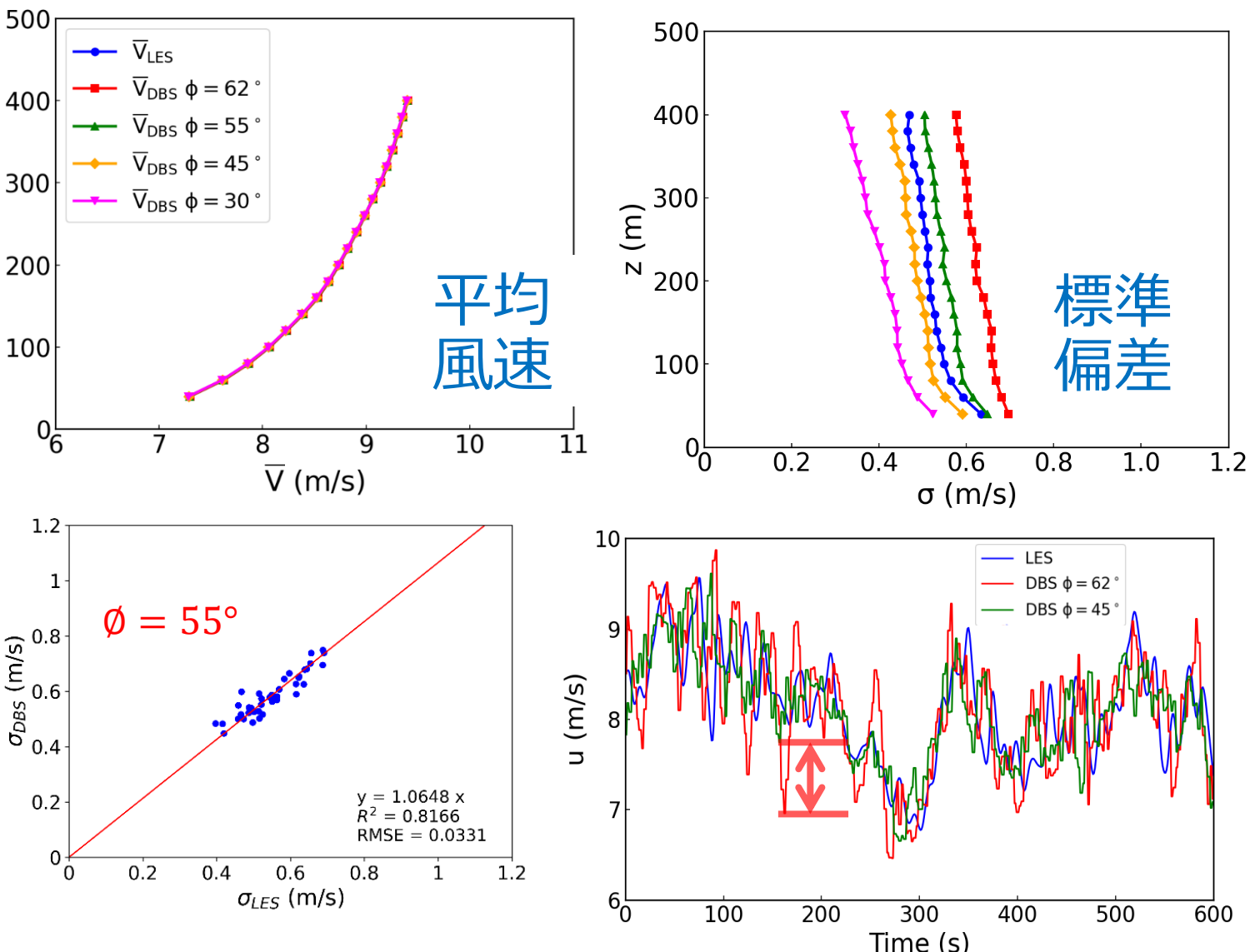
- 複雑地形上において、地上に設置したドップラーライダーによる高精度な乱流計測手法の確立を最終目的とする。
- そのために、高解像度のラージエディシミュレーション(LES)を用い、ライダーによる乱流強度の計測誤差の原因を明らかにするとともに、その補正手法を提案する。

研究項目A 大気境界層の数値解析



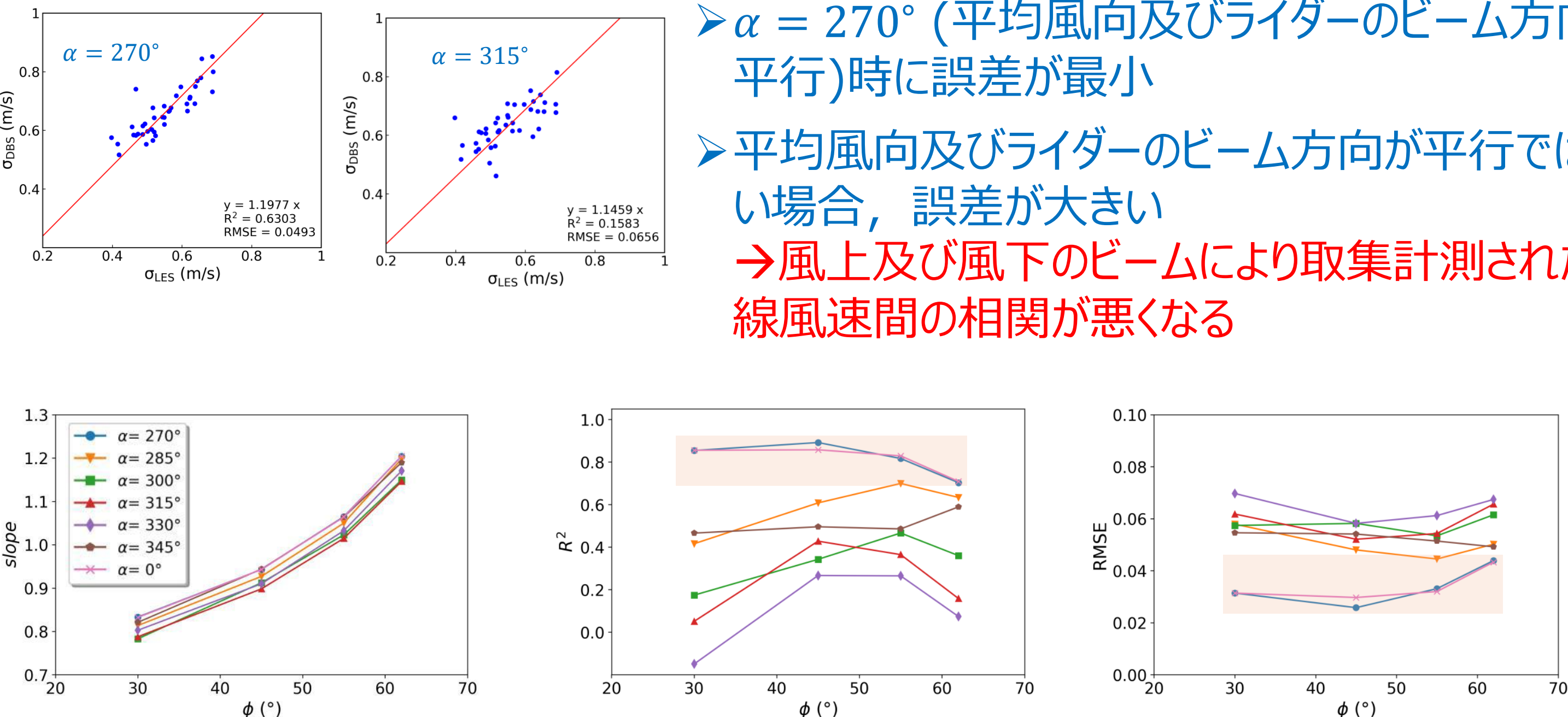
- ラージエディシミュレーション(LES)による大気境界層の数値解析
- LES 環境で、鉛直ドップラーライダーによる風速計測を模擬。Doppler Beam Swinging (DBS)モードによる速度ベクトルの算出

仰角の影響



- 平均風速は既存の仰角設定でも高精度で計測可能
- 乱流は従来用いられる仰角、 $\phi = 62^\circ$ では誤差が大きく、 $\phi = 45^\circ$ 及び 55° では誤差が小さい
→高い仰角($\phi = 62^\circ$)では鉛直風速成分の寄与が大きくなるため

風向の影響



- $\alpha = 270^\circ$ (平均風向及びライダーのビーム方向が平行)時に誤差が最小
- 平均風向及びライダーのビーム方向が平行ではない場合、誤差が大きい
→風上及び風下のビームにより収集計測された視線風速間の相関が悪くなる

研究項目D 連続式ライダーを対象とした補正モデルの構築と実観測データを用いた検証

- 2台の連続式ライダー（ライダー1およびライダー2）と高さ250 mの観測タワーを用い、7ヶ月間の観測を行った。
- ニューラルネットワーク（NN）を用い、以下の2手法により学習を行い、乱流計測の補正を行った。

- ① 物理に基づくライダー乱流モデルを利用する方法
- ② ライダー測定値のみを利用するデータ駆動型の方法

- 両手法では低高度（37m及び103m）では、乱流強度の予測値が超音波風速計の測定値と良好に一致した。
- 一方で、高さ 175 m および 241 mでは予測精度が低下した。

実用化・事業化の見通し

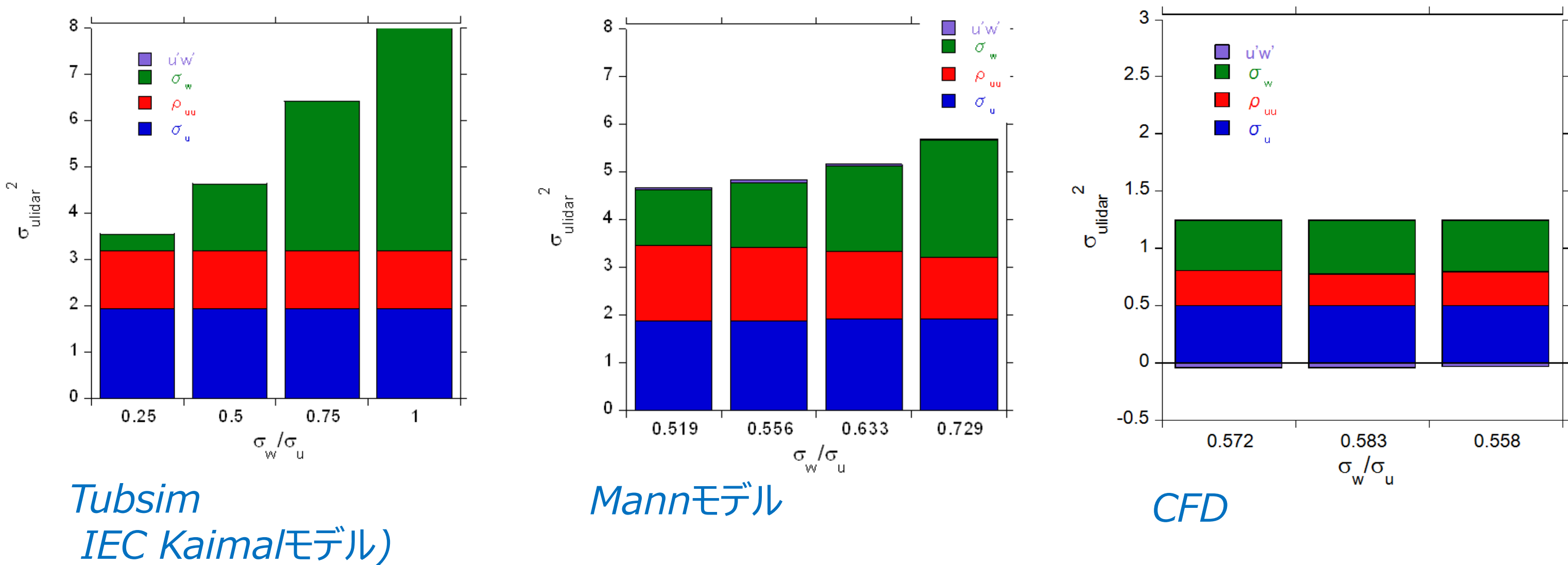
平坦地形上においてライダーにより計測された乱流強度の補正について、実現の目処がたち、実観測データを用いた検証を行っている。次のステップとして複雑地形上の乱流強度の補正について検討する。この研究により、陸上においてドップラーライダーによる乱流強度の計測手法が確立される見込みである。

研究項目B 統計的乱流発生手法の比較と検証

従来のTurbSim(IEC Kaimalモデル)による手法に加え、Mannモデルより統計的な乱流風速場を発生させ、研究開発項目Aで実施した数値流体解析の結果も合わせて、鉛直ライダーによるインタービーム誤差を評価した。

鉛直ライダーによるインタービーム誤差(Yamaguchi and Ishihara, 2026)

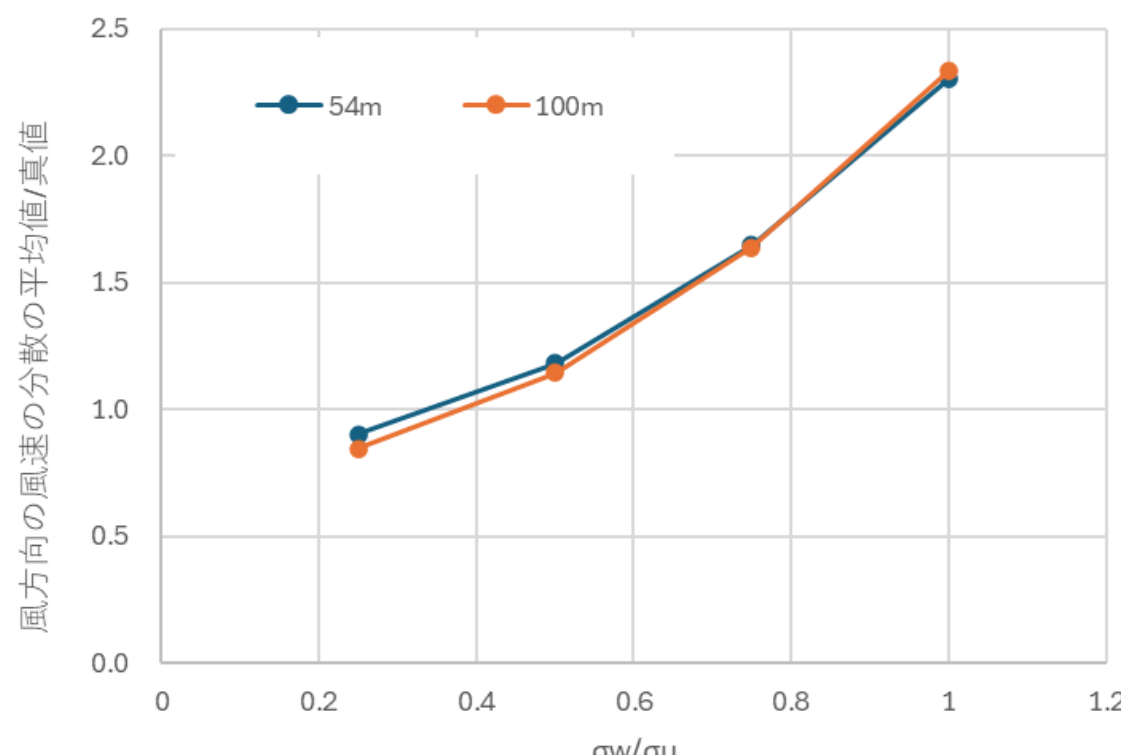
$$\sigma_{LiDAR}^2 = \frac{1}{2}\sigma_u^2 + \frac{1}{2}\rho_{uu}\sigma_u^2 + \frac{\cos^2\theta_0}{2\sin^2\theta_0}\sigma_w^2(1-\rho_{ww}) + \frac{\cos\theta_0}{2\sin\theta_0}(\overline{u'_2w'_2} - \overline{u'_2w'_4} + \overline{u'_4w'_2} - \overline{u'_4w'_4})$$



- 両モデルによる鉛直ライダーによるインタービーム誤差の要因となる変動成分の2次の相間項の大きさはモデルによらずほぼ一致し、従来のモデルによるインタービーム誤差の補正モデルは信頼できることがわかった。

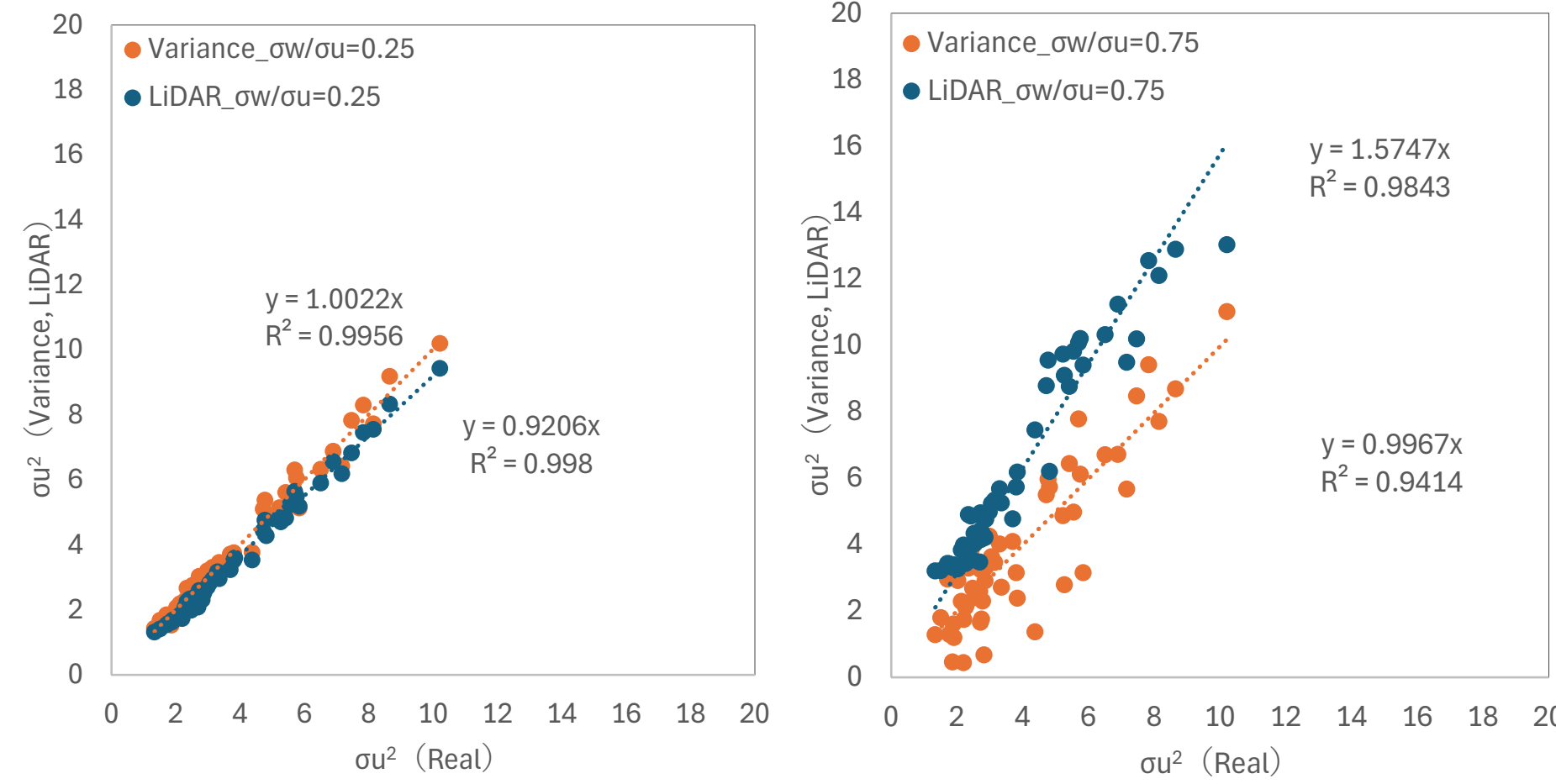
研究項目C パルス式ライダーを対象とした補正モデルの構築と実観測データを用いた検証

研究項目Bで実施した結果に基づき、ライダーで計測した水平風速の分散と真の水平風速の分散との比を変動風速の鉛直成分と水平成分の比の関数として高度別に求めた。また、ライダーでDBS法により計測した水平風速の標準偏差を、Thiebau et al. (2024)によって提案された分散法と比較した。



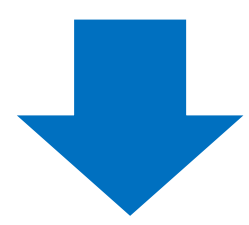
- ライダーによる水平風速の分散の過大評価の割合は計測高度によって大きく変わらないが、高度別の経験式としてモデル化した。

- 分散法による標準偏差の算定では、 σ_w/σ_u の比によらずバイアスは小さいがばらつきが大きい。
- DBS法により求めた標準偏差はばらつきが小さいが、 σ_w/σ_u が大きくなると過大評価となるバイアスがある。



研究項目E 統計的乱流モデルの改良

- 5台の長距離ドップラーライダーによる、海上150 mから250 mの高さにおいて、洋上大気境界層(MBL)内の風速を計測した。
- 計測した風速から1点自己スペクトル及び横方向隔たり最大241 mに対して乱流の横方向コヒーレンスを算出した。
- 計測結果を用いて、Mannモデルおよびその拡張版であるSyed-Mannモデルの2つの乱流モデルによる自己スペクトルおよび横方向コヒーレンスの理論予測値を評価した。



- 計測から求めた、自己スペクトルの主流方向成分と風横成分をMannモデルと比較した結果、大気が不安定時に一致したものの安定時に差が大きくなる。
- Syed-Mannモデルは、全て大気安定度条件下において計測から得られた自己スペクトルと一致した。