

**Engelbart DAM and Bange J (2002) Determination of boundary-layer parameters using wind profiler /RASS and sodar/RASS in the frame of the LITFASS project, Theoretical and Applied Climatology 73, 53-65.**

**要旨(和訳):** 信号処理技術の進歩により、RASS付きのウインドプロファイラーレーダー(WPR)やソーダが大気境界層プロファイル観測の標準的機器となってきた。これらの機器の基本的な観測項目は、平均風および温度プロファイルだが、本論文では、顕熱と運動量の乱流フラックス、および、ABL高度の理解に重点を置き、その手法と実際の適用について記述する。ドイツ気象庁(German Meteorological Service)のLITFASS(訳注:Lindenberg Inhomogeneous Terrain - Fluxes between Atmosphere and Surface: a long-term Studyの略、パッチスケール100m~1km程度の不均質地表面上で10kmスケールの平均フラックスを計測するシステムを開発・運用することを目的とする)プロジェクトにおいて、ABLの鉛直構造に関する理解の必要性が挙げられたことから、その点に特に焦点を絞った。LITFASSプロジェクトの枠組みの中で、特別観測がなされ、リモートセンシングシステム(訳注:WPRやソーダのこと)を用いて、ABLパラメータ測定に対する機器の能力を調査した。個々の観測のケーススタディを元に、RASS付きソーダ観測およびRASS付きWPR観測の結果を航空機観測やモデル計算結果と比較した。乱流熱フラックスについては、WPR/RASSによって遠隔観測されたフラックスプロファイルが、航空機による原位置観測およびモデル計算結果と非常によく一致した。しかしながら、遠隔観測されたフラックスには、典型例として±20~30Wm⁻²程度の誤差があった。現在の信号処理は、未だ、地表面の不均一性に関係する小さなスケールの鉛直構造を解釈できていない。

## 1. Introduction

**LITFASS:** モデル同期用・検証用データの供給、高分解能モデルのアルゴリズムとパラメータ化の検証

**本研究:** ABL高度の決定、乱流フラックスプロファイル、異なる手法での比較

## 2. Boundary-layer height

**ソーダ:** 高度が低い、安定成層に向く

**WPR:** 高度範囲が広、不安定混合層に向く

### 2.1 Convective boundary layers

**WPR/RASS法(仮温位プロファイル法)**

境界層高度:  $z_i = z_0 + \Delta E_z / 2$

$\Delta E_z$ : 逆転層厚さ、 $z_0$ : 逆転層下端高度

$\Delta E_z <$  高度分解能、 $z_i >$  最大高度 1km程度

**純WPR法(レーダ反射率法)**

レーダ反射率:  $\eta \approx 0.38 C_n^2 \lambda^{-1/3}$

$C_n^2$ : 屈折率構造定数自乗、 $\lambda$ : 波長

$C_n^2$  湿度・温度変動に大きく依存

温湿度変動は逆転層で最大 混合高度

(混合層内では大きな熱的構造はないはず)

### 2.2 Stably-stratified boundary layers

WPRの高度分解能 & 最低高度 > 逆転層高度

ソーダ/RASSで測定 仮温位が最大の高度

モデルで良くあるのは  $Ri$  の閾値

リチャードソン数:  $Ri = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta / \partial z}{(\partial U / \partial z)^2}$

$Ri > 0$  の時が安定。閾値  $Ric = 0.35$  (図-1の例)

$Ric = 0.28 \sim 0.40$  の間で感度は低い。

## 2.3 Case studies and validation

1998/06/18 ソーダ/RASS、1.29GHzWPR/RA  
SS、482MHzWPR/RASSでうまく補完(図-2)

## 3. Vertical profiles of the turbulent fluxes of heat and momentum

周辺地表面不均一性 フラックス鉛直構造

### 3.1 Theoretical background

#### 3.1.1 顕熱フラックス

RASS音波伝播  $C_R = C_a(T_v) + w$

$$\overline{w' \theta_v} = \sqrt{\frac{\theta_v}{\gamma R_a}} \left( \sigma_{C_R}^2 - \frac{1}{\alpha^2} \sigma_{\theta_v}^2 - \sigma_w^2 \right)$$

$\sigma_{\theta_v}^2$  は微小で誤差大、パラメータ化で代用

$$\sigma_{\theta_v}^2 = T_{*,ML}^2 \times 1.8 \times (z/z_i)^{-2/3} \quad (\text{Stull, 1988})$$

$$T_{*,ML}^2 = [(w_*^2 \theta_v) / (g z_i)]^2$$

$$w_* = \left[ \frac{\sigma_w^2}{1.8(z/z_i)^{2/3} (1 - 0.8z/z_i)^2} \right]^{1/2}$$

### 3.1.2 運動量フラックス

$$\overline{w' u'} = \frac{\sigma_{v_{u+}}^2 - \sigma_{v_{u-}}^2}{4 \sin \phi \cos \phi}, \quad \overline{w' v'} = \frac{\sigma_{v_{v+}}^2 - \sigma_{v_{v-}}^2}{4 \sin \phi \cos \phi}$$

$$\tau = \rho \sqrt{\overline{w' u'}^2 + \overline{w' v'}^2} = -\rho u_*^2$$

現在の時間分解能 > 慣性小領域

## 3.2 Selected parameterizations for heat and momentum fluxes from WPR/RASS and SODAR/RASS

$$\int_0^{z_i} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz = \frac{1}{\rho c_p} \int_0^{z_i} dH = \frac{1}{\rho c_p} (H_i - H_0)$$

$$H_0 = \frac{\rho c_p z_i}{1 - a} \frac{\Delta \theta}{\Delta t}, \quad H_i = -a H_0$$

## 3.3 Error estimators for remotely-sensed fluxes and variances

サンプリングエラーとノイズの見積もり方

## 3.4 Case studies from the Litfass campaigns

各種フィルタでノイズ、サンプルエラー除去

1998/06/18の337mのwスペクトル(図-3)

97/6/14と98/6/18顕熱フラックス(図-4,5)

図-5はcould-topped。概ね一致。

CBL上部でバラつきが大きい。(エラー)

(訳注:航空機より entrainment flux が大きく見えるけど、本当にエラーだけなのかしら?)

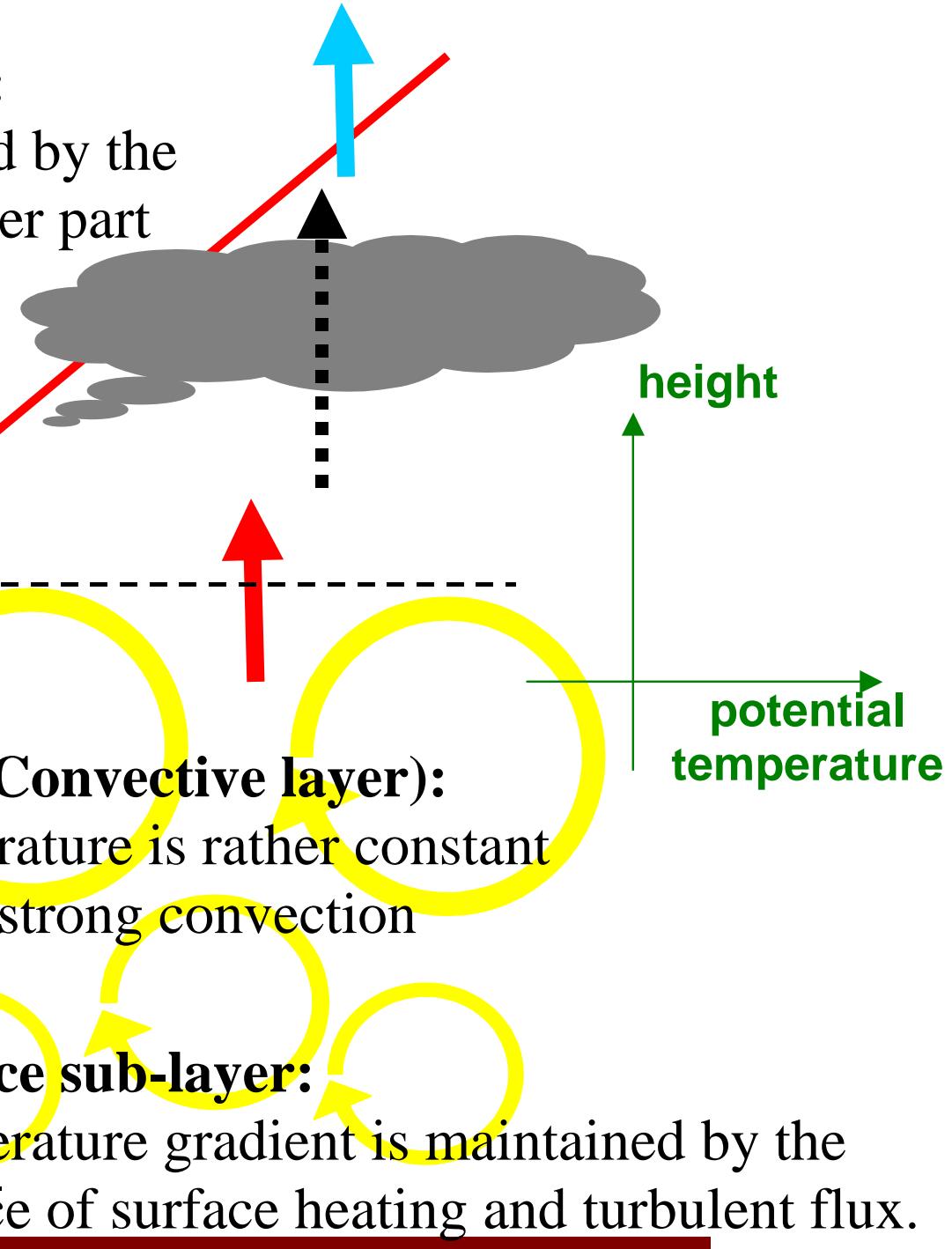
不均質性の影響 < 最低高度 ソーダに期待

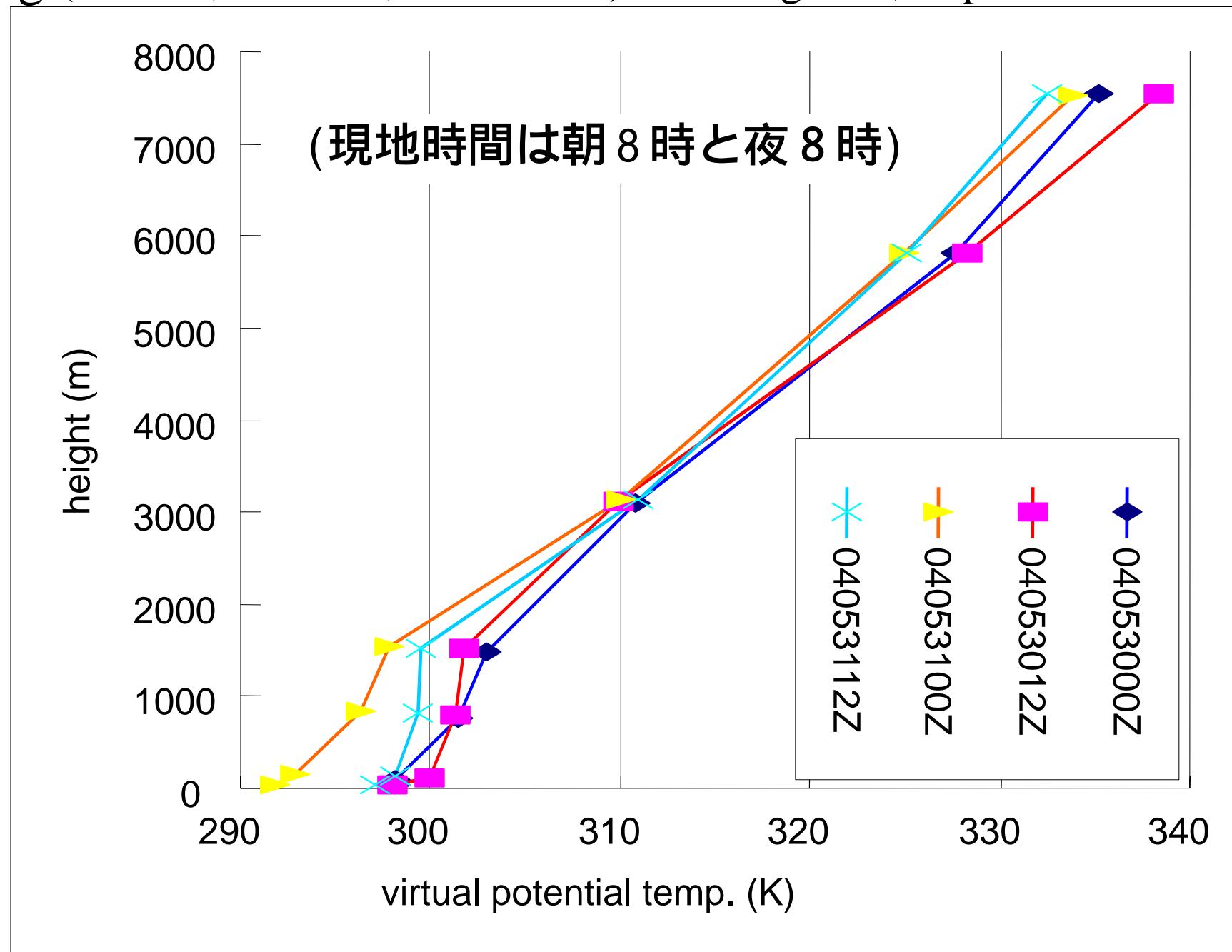
## 4. Summary and conclusions

0次と1次はOK、2次は未だ研究レベル

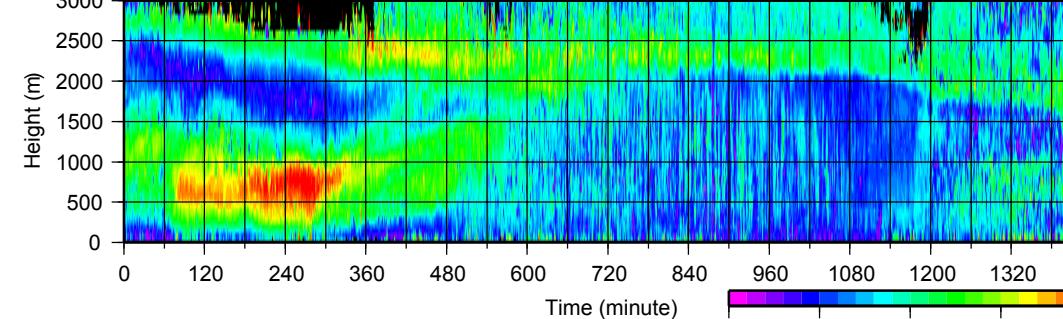
## Free Atmosphere (Troposphere):

Temperature gradient is maintained by the balance of radiative cooling at upper part and thermal heating at bottom part

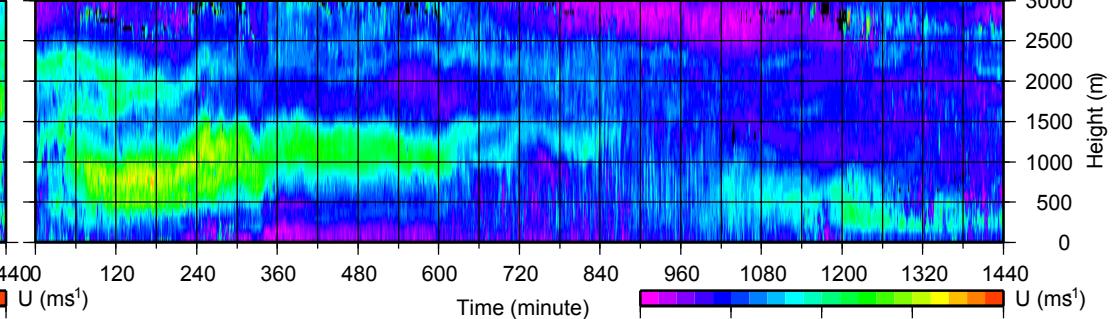


Fuyang (32.86N, 115.73E, 33.0mASL) sounding data, <http://www-das.uwyo.edu/>

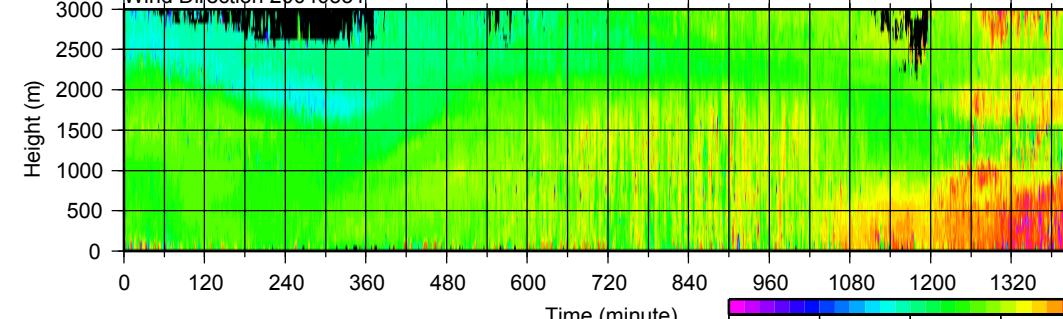
Horizontal Wind Velocity 20040531



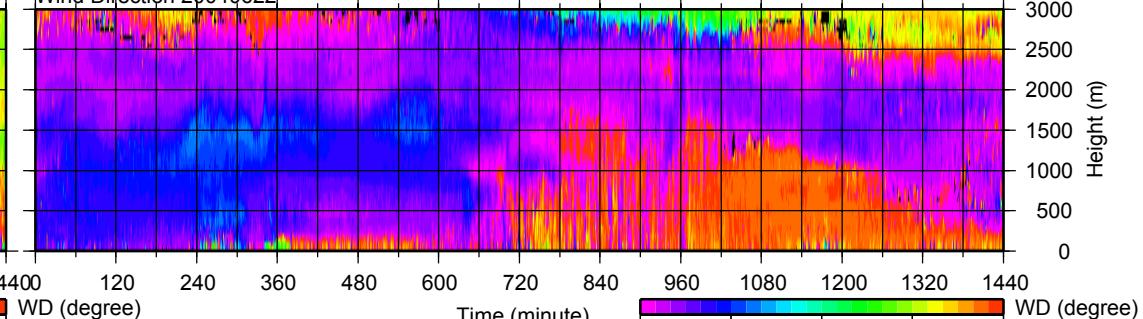
Horizontal Wind Velocity 20040622



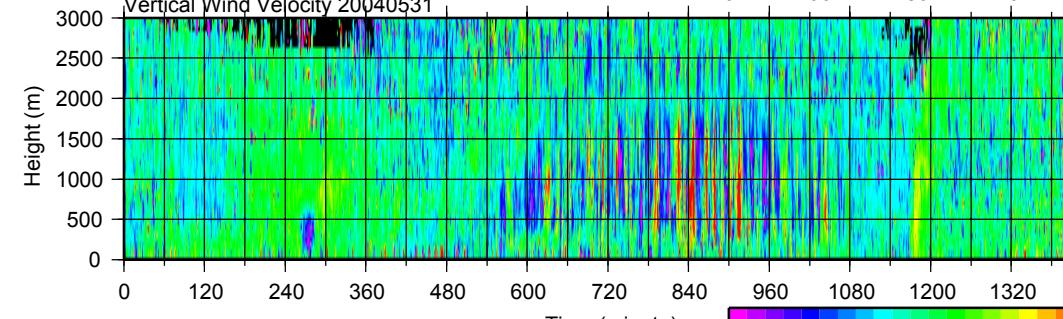
Wind Direction 20040531



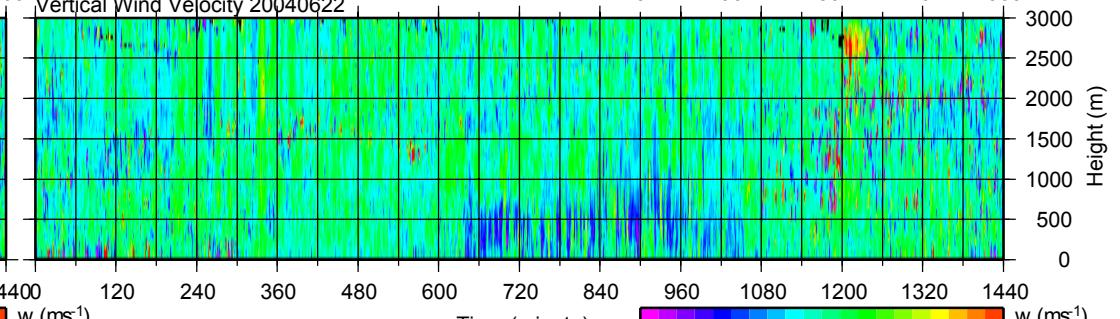
Wind Direction 20040622



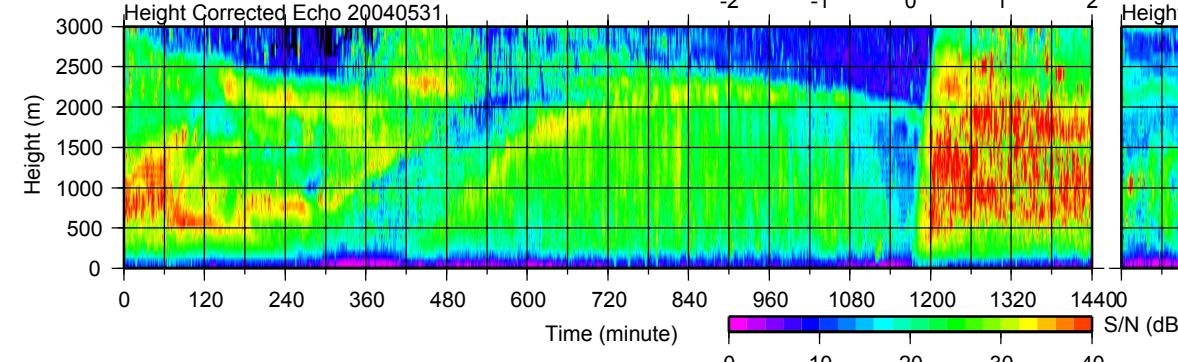
Vertical Wind Velocity 20040531



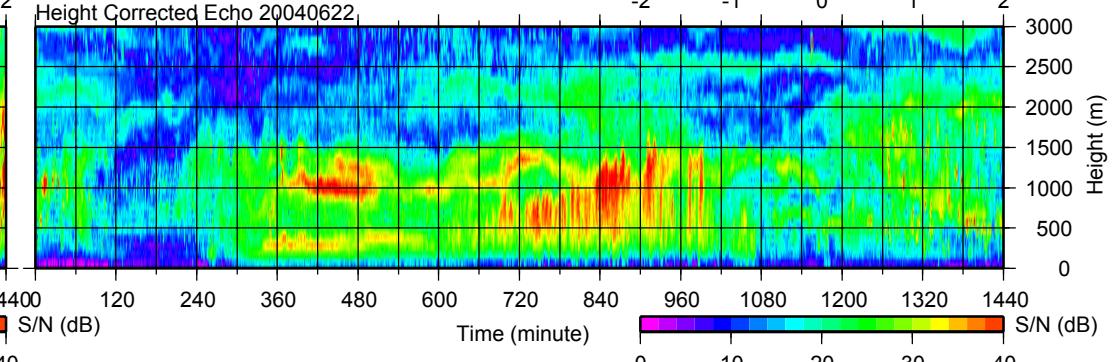
Vertical Wind Velocity 20040622

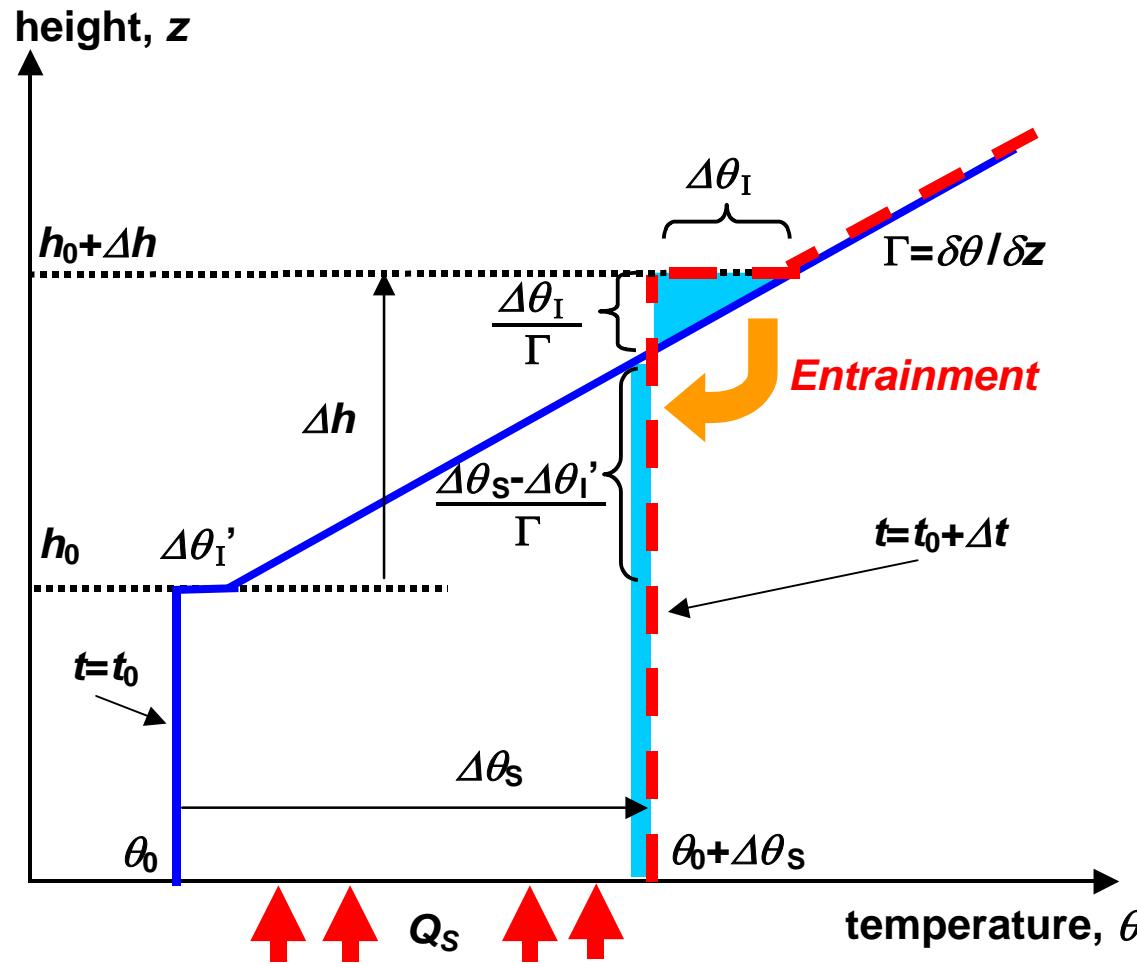


Height Corrected Echo 20040531



Height Corrected Echo 20040622





$$Q_s = \Delta\theta_s h_0 + \frac{1}{2} \frac{(\Delta\theta_s - \Delta\theta_i')^2}{\Gamma} - \frac{1}{2} \frac{\Delta\theta_i'^2}{\Gamma}$$

$$Q_E \equiv \frac{1}{2} \frac{\Delta\theta_i'^2}{\Gamma} \quad \left( Q_E' \equiv \frac{1}{2} \frac{\Delta\theta_i'^2}{\Gamma} \right)$$

$$\Gamma\Delta h = \Delta\theta_s - \Delta\theta_i' + \Delta\theta_i$$

入手可能なデータ（中国・寿県サイト）

自由大気（対流圏）の仮温位プロファイル	ゾンデータ
接地境界層の仮温位プロファイル	タワーデータ
対流混合層高度	ウインドプロファイルデータ

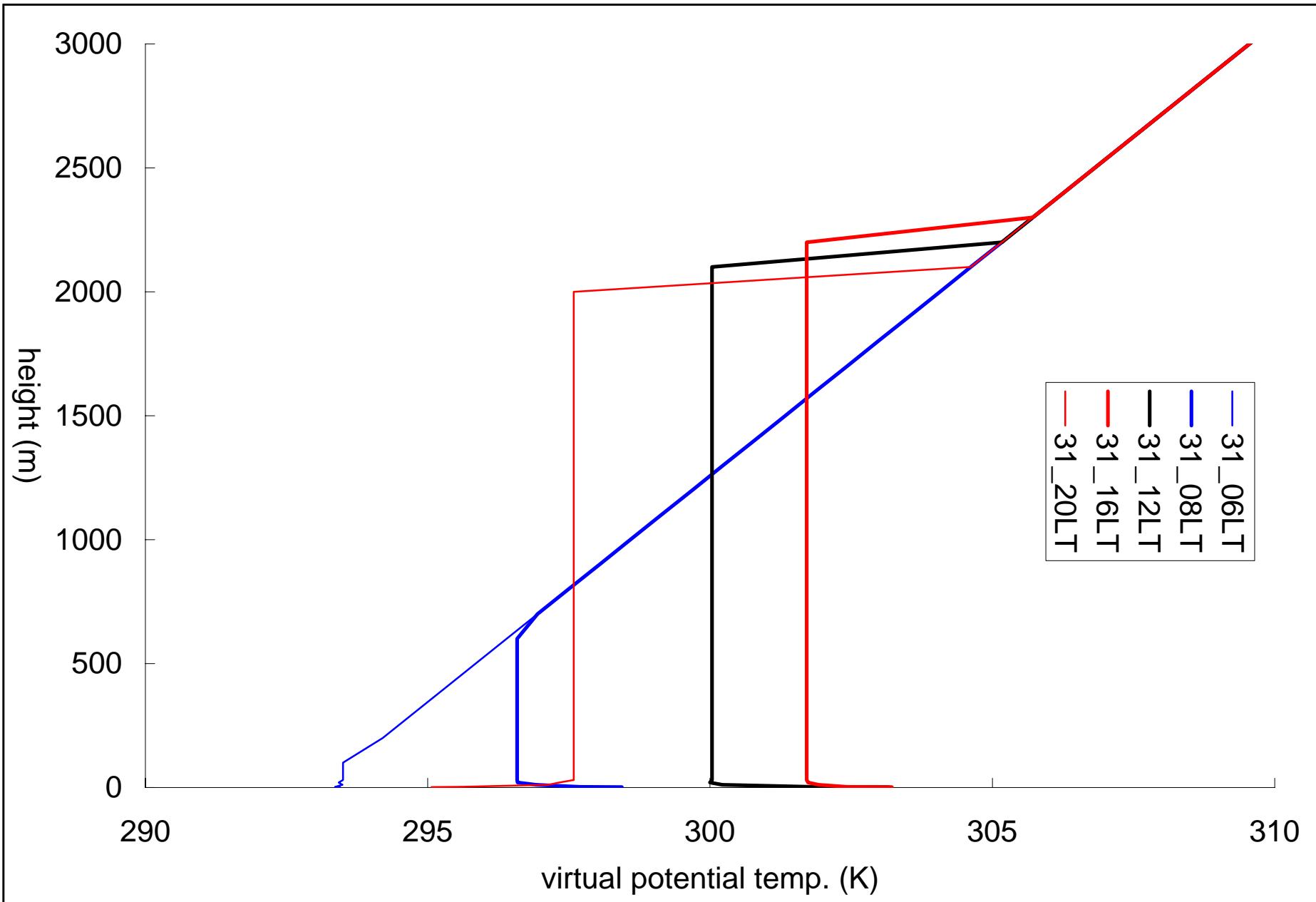
対流混合層（ABL）の仮温位プロファイル～コンスタント

地表面フラックス および Entrainment フラックス

ABL 高度上昇フェーズの挙動  $Q_E = -\alpha Q_S$  ?  $\alpha = 0.2$  ?

ABL 高度低下フェーズの挙動  
夜間の挙動？？？ 安定成層

ABL 内の温位が必要？？  
ソーダデータの活用？？



Web of Knowledge (<http://isi4.isiknowledge.com/>)

Web of Science / Topics:

**“wind profiler radar”**

→ 21 results found

Oldest is 21. WEBER BL, WUERTZ DB, COMPARISON OF  
RAWINSONDE AND WIND PROFILER RADAR MEASUREMENTS,  
JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY 7 (1):  
157-174 FEB 1990

Newest is 1. Hashiguchi H, Fukao S, Moritani Y, et al., A lower troposphere  
radar: 1.3-GHz active phased-array type wind profiler with RASS,  
JOURNAL OF THE METEOROLOGICAL SOCIETY OF JAPAN 82  
(3): 915-931 JUN 2004

[SUBMIT SELECTIONS](#)[DESELECT PAGE](#)[DESELECT ALL](#)

Latest Date

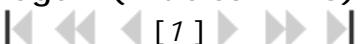
[SORT](#)

All records output by default. Use the checkboxes to deselect/select records for output.  
 Be sure to click the "Submit Selections" button before leaving page.

Sort affects view and output.

1.  Hashiguchi, H; Fukao, S; Moritani, Y; et al.  
[A lower troposphere radar: 1.3-GHz active phased-array type wind profiler with RASS](#)  
 JOURNAL OF THE METEOROLOGICAL SOCIETY OF JAPAN, 82 (3): 915-931 JUN 2004
2.  Engelbart, DAM; Bange, J  
[Determination of boundary-layer parameters using wind profiler/RASS and sodar/RASS in the frame of the LITFASS project](#)  
 THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY, 73 (1-2): 53-65 2002
3.  Gorsdorf, U; Beyrich, F; Dier, H; et al.  
[Composite wind and temperature profiles obtained from a complex of in-situ and remote sensing measurement systems for the forcing of a boundary layer model](#)  
 THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY, 73 (1-2): 97-105 2002
4.  Gangoiti, G; Alonso, L; Navazo, M; et al.  
[Regional transport of pollutants over the Bay of Biscay: analysis of an ozone episode under a blocking anticyclone in west-central Europe](#)  
 ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 36 (8): 1349-1361 MAR 2002
5.  Browning, KA; Wang, CG  
[Cloud-top striations above ana-cold frontal circulations](#)  
 QUARTERLY JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY, 128 (580): 477-499 Part B JAN 2002
6.  Gangoiti, G; Alonso, L; Maruri, M; et al.  
[UHF radar detection and numerical simulation of an episode of foehn and lee waves over the northern coast of Iberia](#)  
 JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY, 41 (3): 230-240 MAR 2002

Page 1 (Articles 1 -- 6):

[Acceptable Use Policy](#)Copyright © 2004 [The Thomson Corporation](#)

本日のセレクション：

Engelbart DAM and Bange J (2002)

Determination of boundary-layer  
parameters using wind profiler/RASS  
and sodar/RASS in the frame of  
the LITFASS project

Theoretical and Applied Climatology  
73, 53-65.

要旨(和訳): 信号処理技術の進歩により、RASS 付きのウインドプロファイラーレーダー(WPR)やソーダが大気境界層プロファイル観測の標準的機器となってきた。これらの機器の基本的な観測項目は、平均風および温度プロファイルだが、本論文では、顕熱と運動量の乱流フラックス、および、ABL 高度の理解に重点を置き、その手法と実際の適用について記述する。ドイツ気象庁 (German Meteorological Service) の LITFASS (訳注: Lindenberg Inhomogeneous Terrain - Fluxes between Atmosphere and Surface: a long-term Study の略、パッチスケール 100m ~ 1km 程度の不均質地表面上で 10km スケールの平均フラックスを計測するシステムを開発・運用することを目的とする) プロジェクトにおいて、ABL の鉛直構造に関する理解の必要性が挙げられたことから、その点に特に焦点を絞った。LITFASS プロジェクトの枠組みの中で、特別観測がなされ、リモートセンシングシステム(訳注: WPR やソーダのこと)を用いて、ABL パラメータ測定に対する機器の能力を調査した。個々の観測のケーススタディを元に、RASS 付きソーダ観測および RASS 付き WPR 観測の結果を航空機観測やモデル計算結果と比較した。乱流熱フラックスについては、WPR/RASS によって遠隔観測されたフラックスプロファイルが、航空機による原位置観測およびモデル計算結果と非常によく一致した。しかしながら、遠隔観測されたフラックスには、典型例として  $\pm 20 \sim 30 \text{ W m}^{-2}$  程度の誤差があった。現在の信号処理は、未だ、地表面の不均一性に関する小さなスケールの鉛直構造を解釈できていない。

## 1. Introduction

LITFASS :

モデル同期用・検証用データの供給

高分解能モデルのアルゴリズムとパラメータ化の検証

本研究 :

ABL 高度の決定

乱流フラックスプロファイル

異なる手法での比較

## 2. Boundary-layer height

ソーダ：高度が低い、安定成層に向く

WPR：高度範囲が広、不安定混合層に向く

### 2.1 Convective boundary layers

WPR/RASS 法（仮温位プロファイル法）

境界層高度： $z_i = z_0 + \Delta E_z / 2$

$\Delta E_z$ ：逆転層厚さ、 $z_0$ ：逆転層下端高度

$\Delta E_z <$  高度分解能、 $z_i >$  最大高度 1km 程度

純 WPR 法（レーダ反射率法）

レーダ反射率： $\eta \approx 0.38 C_n^2 \lambda^{-1/3}$

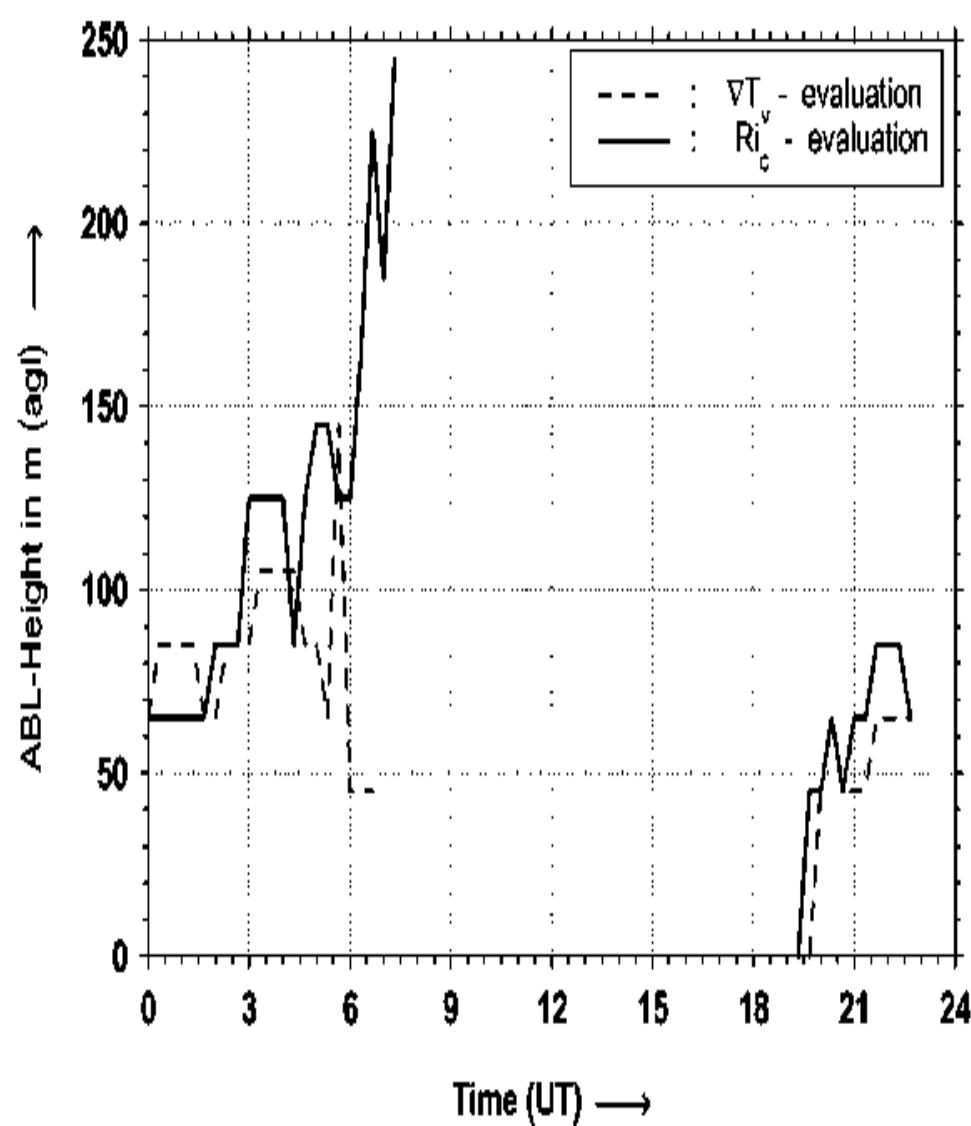
$C_n^2$ ：屈折率構造定数自乗、 $\lambda$ ：波長

$C_n^2$  湿度・温度変動に大きく依存

温湿度変動は逆転層で最大 混合高度

（混合層内では大きな熱的構造はないはず）

## 2.2 Stably-stratified boundary layers



WPR 高度分解能 & 最低高度 > 逆転層高度  
ソーダ/RASS で測定 仮温位が最大高度  
モデルで良くあるのは  $Ri$  の閾値

$$\text{リチャードソン数} : Ri = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta / \partial z}{(\partial U / \partial z)^2}$$

$Ri > 0$  の時が安定

閾値  $Ri_c = 0.35$  (図-1 の例)

$Ri_c = 0.28 \sim 0.40$  の間で感度は低い。

Fig. 1. Height of the stable (nocturnal) boundary layer at 17 May, 1998, derived from sodar/RASS using a Richardson-number criterion with  $Ri_c = 0.35$  (solid) and derived from  $\max(\theta)$  (dashed)

## 2.3 Case studies and validation

1998/06/18 の例 (cloud-topped、10 時ごろから降雨あり)

ソーダ/RASS、1.29GHzWPR/RASS、482MHzWPR/RASS でうまく補完(図-2)

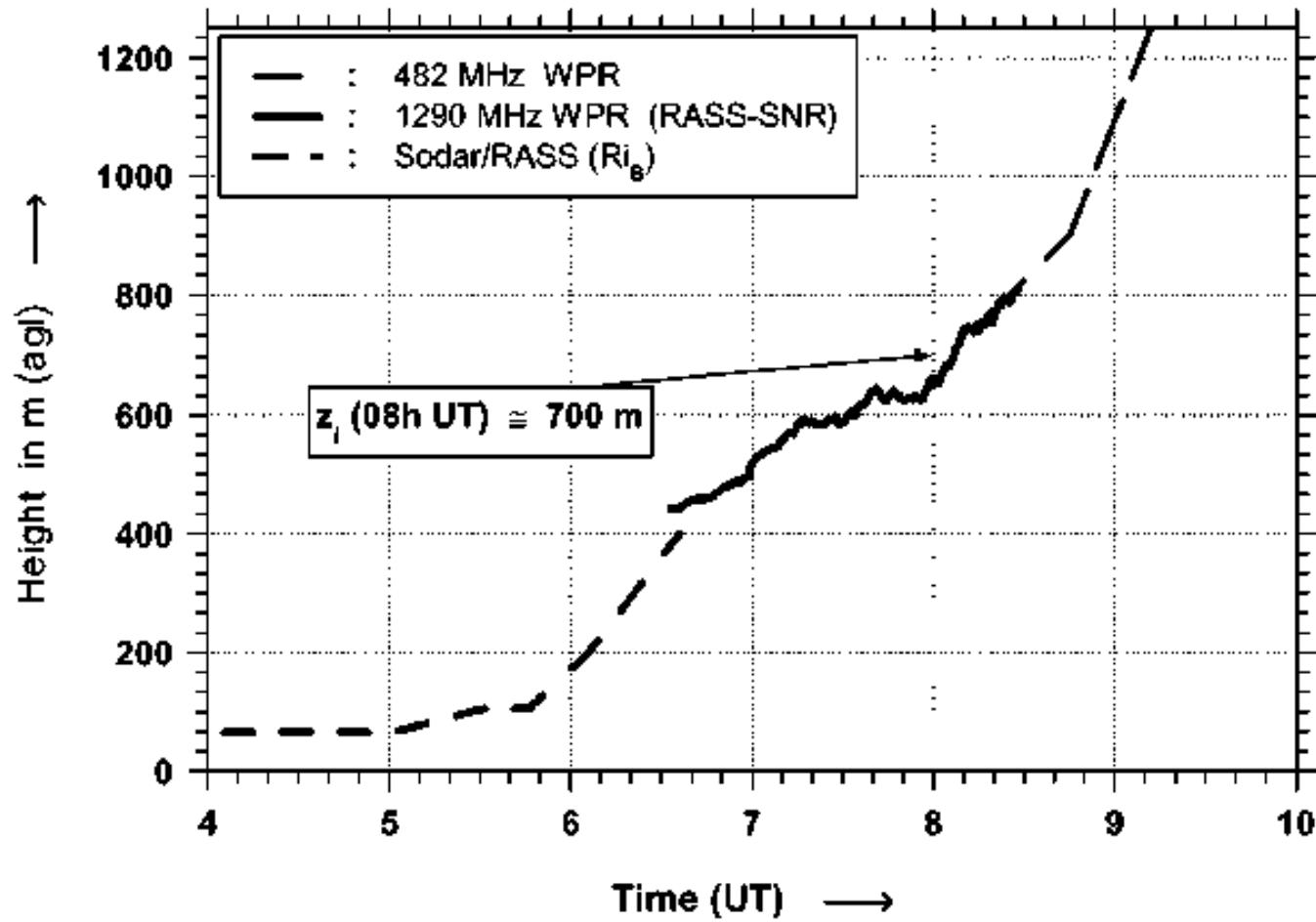


Fig. 2. ABL height on 18 June, 1998, 4:00 h–10:00 h UT, as derived from three different remote-sensing systems (see text)

### 3. Vertical profiles of the turbulent fluxes of heat and momentum

周辺地表面不均一性 フラックス鉛直構造

#### 3.1 Theoretical background

##### 3.1.1 顯熱フラックス

RASS 音波伝播  $C_R = C_a(T_V) + w$

$$\overline{w' \theta_V'} = \sqrt{\frac{\theta_V}{\gamma R_a}} \left( \sigma_{C_R}^2 - \frac{1}{\alpha^2} \sigma_{\theta_V}^2 - \sigma_w^2 \right) \quad \text{左辺: 共分散法、右辺: 分散法}$$

$\sigma_{\theta_V}^2$  は微小で誤差大、パラメータ化で代用

$$\sigma_{\theta_V}^2 = T_{*,ML}^2 \times 1.8 \times (z/z_i)^{-2/3} \quad (\text{Stull, 1988})$$

$$T_{*,ML}^2 = \left[ \left( w_*^2 \theta_V \right) / (g z_i) \right]^2, \quad w_* = \left[ \frac{\sigma_w^2}{1.8 (z/z_i)^{2/3} (1 - 0.8 z/z_i)^2} \right]^{1/2}$$

##### 3.1.2 運動量フラックス

$$\overline{w' u'} = \frac{\sigma_{v_{u+}}^2 - \sigma_{v_{u-}}^2}{4 \sin \phi \cos \phi}, \quad \overline{w' v'} = \frac{\sigma_{v_{v+}}^2 - \sigma_{v_{v-}}^2}{4 \sin \phi \cos \phi}, \quad \tau = \rho \sqrt{\overline{w' u'}^2 + \overline{w' v'}^2} = -\rho u_*^2$$

現在の時間分解能 < > 慣性小領域

## 3.2 Selected parameterizations for heat and momentum fluxes from WPR/RASS and SODAR/RASS

$$\int_0^{z_i} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz = \frac{1}{\rho c_P} \int_0^{z_i} dH = \frac{1}{\rho c_P} (H_i - H_0), \quad H_0 = \frac{\rho c_P z_i}{1-a} \frac{\Delta \theta}{\Delta t}, \quad H_i = -a H_0$$

## 3.3 Error estimators for remotely-sensed fluxes and variances

サンプリングエラーとノイズの見積もり方

## 3.4 Case studies from the Litfass campaigns

各種フィルタでノイズ、サンプルエラー除去

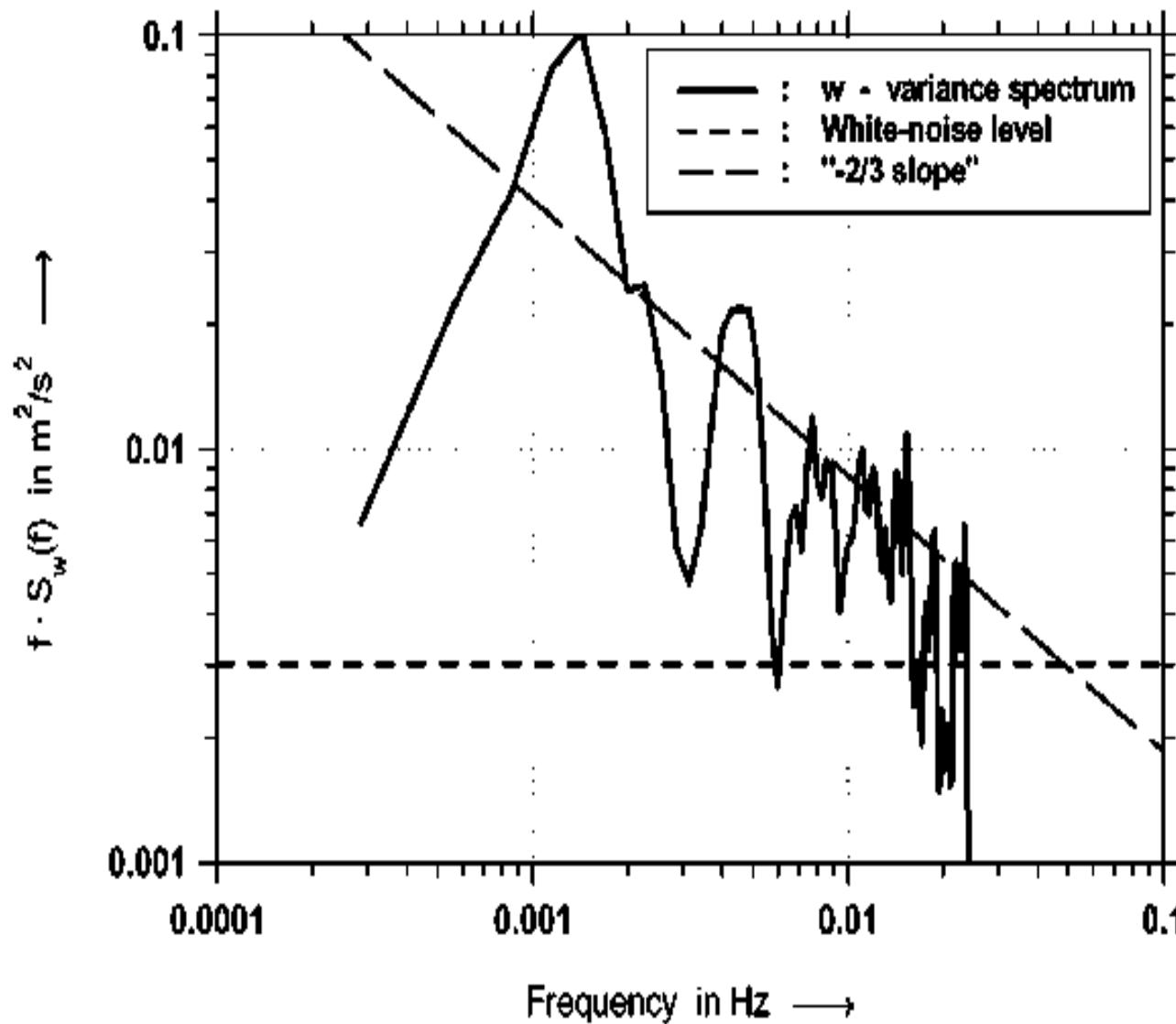
1998/06/18 の 337m の  $w$  スペクトル (図-3)

Fig. 3. Variance spectrum of the vertical velocity for 18 June, 1998, 08 h–09 h UT at a height range of 337 m. The inertial subrange portion of the spectrum should appear as a straight line with a  $-2/3$  slope, as indicated by the dashed line. Additionally, the evaluation of the statistical (noise) error has been indicated by the horizontally-dashed line

## 97/6/14 と 98/6/18 顕熱フラックス (図-4,5) (図-5 は could-topped )

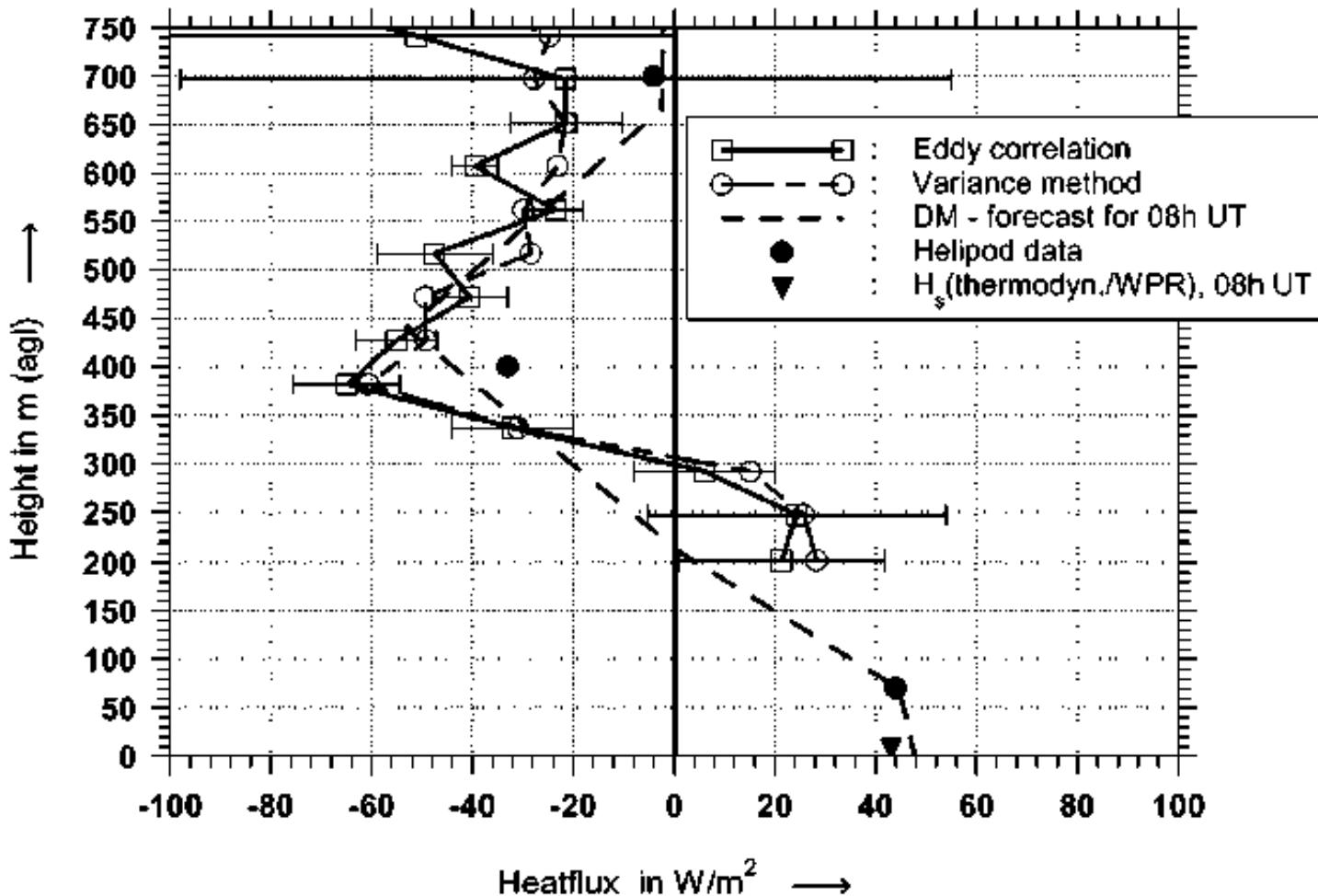
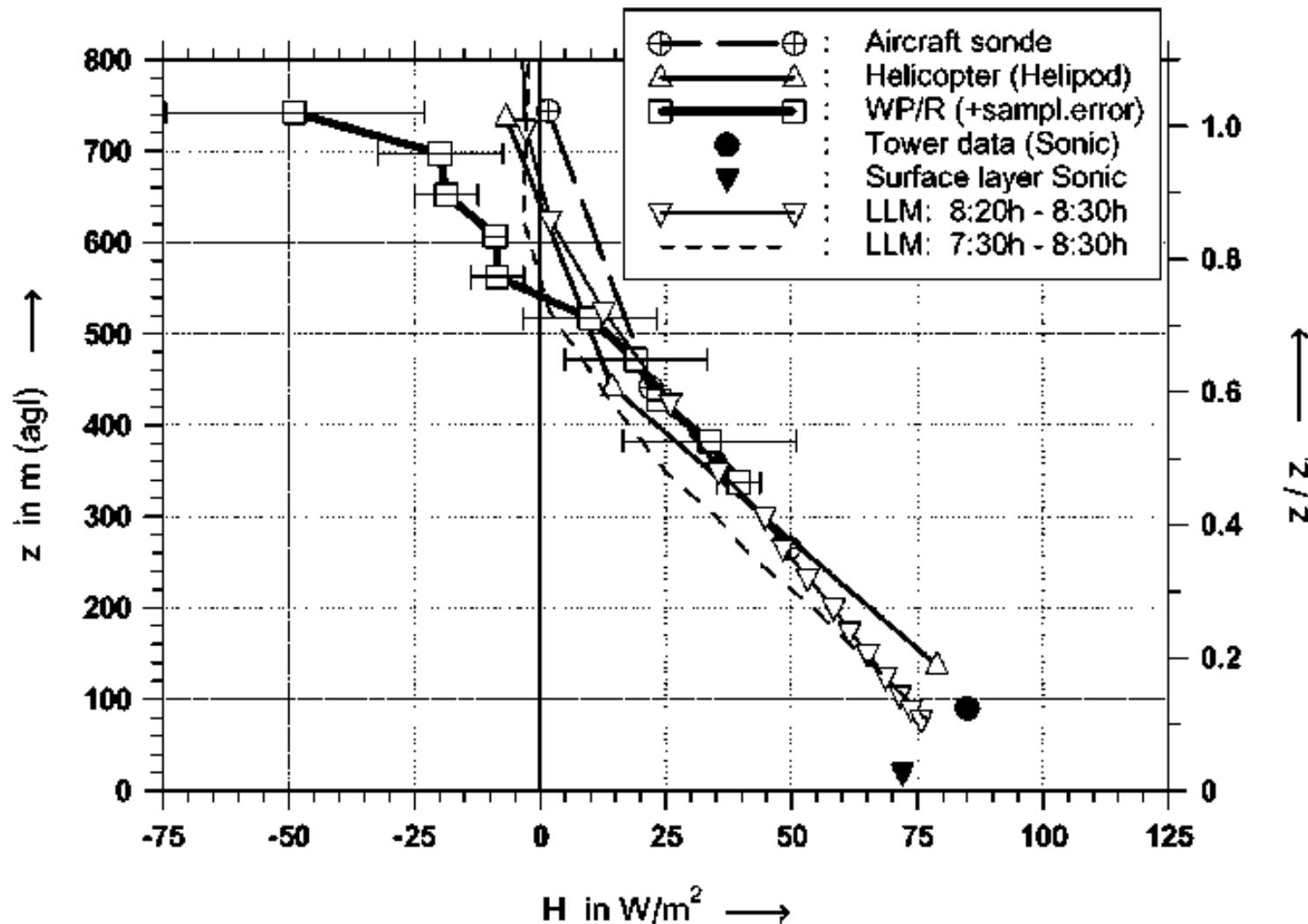


Fig. 4. Vertical profile of the virtual heat flux  $H$  (in  $\text{W/m}^2$ ) for 14 June, 1997, 06:45 h–08:05 h UT, as measured by the 1290 MHz WPR/RASS of the Meteorological Observatory Lindenberg during the LITFASS-98 pre-campaign in 1997. The graph is based on 25 s radial velocity data applied for the eddy correlation and variance technique in comparison to different validation data and methods. Error bars refer to the sampling error according to LS86. Heat fluxes from the Helipod system refer to the east leg of its flight schedule. For comparison, results from the numerical mesoscale model “DM4” of the DWD are shown



**Fig. 5.** Vertical profile of the virtual heat flux  $H$  (in  $\text{W}/\text{m}^2$ ) for 18 June, 1998, 06:45 h–08:05 h UT, as measured by the 1290 MHz WPR/RASS of the Meteorological Observatory Lindenberg during the campaign of LITFASS-98. The graph is based on 25 s radial velocity data similar to Fig. 4 and compared to results of airborne measuring systems as well as the micro- $\alpha$  scale model “LLM”

図-4,5 ともに概ね一致。CBL 上部でバラつきが大きい。( エラー )  
不均質性の影響 < 最低高度 ソーダに期待

#### 4. Summary and conclusions

0次：エコー強度、ABL 高度

= 現業レベル

1次：風速、温位プロファイル

= 現業レベル

2次：分散、共分散

= 未だ研究レベル