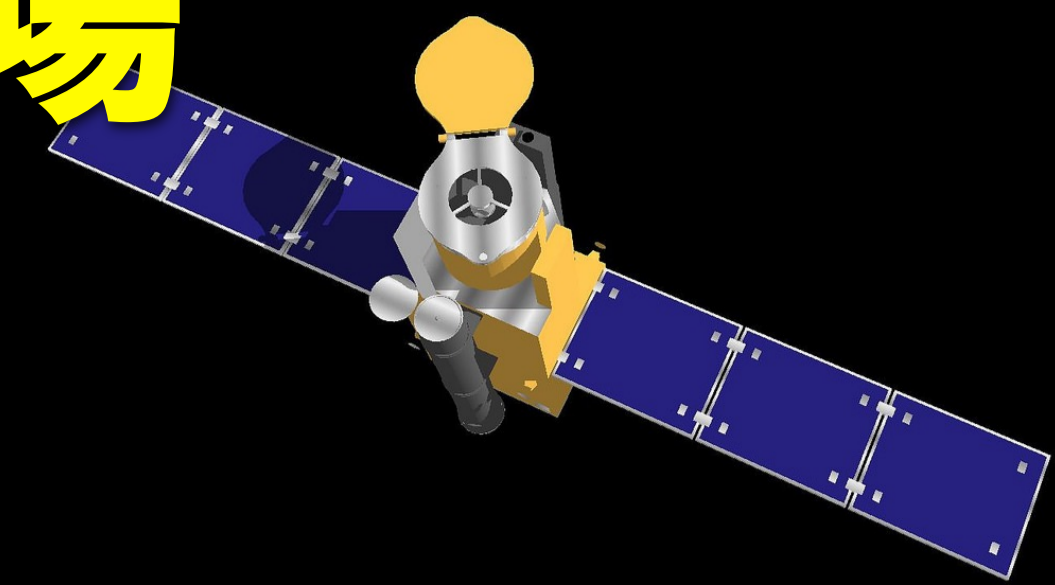


太陽光球大気における3次元対流速度場

大場崇義¹, 飯田佑輔², 清水敏文³

1. 総合研究大学院大学 2. 関西学院大学 3. 宇宙航空研究開発機構



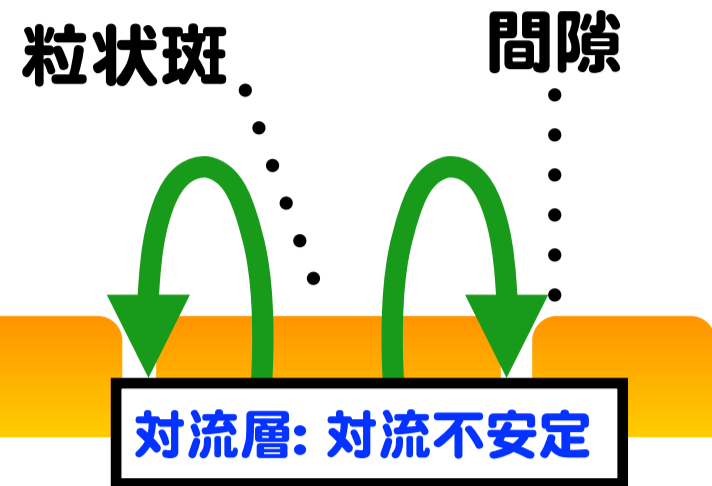
1. Introduction

【研究背景】対流運動によるエネルギー輸送

太陽表面の対流描像

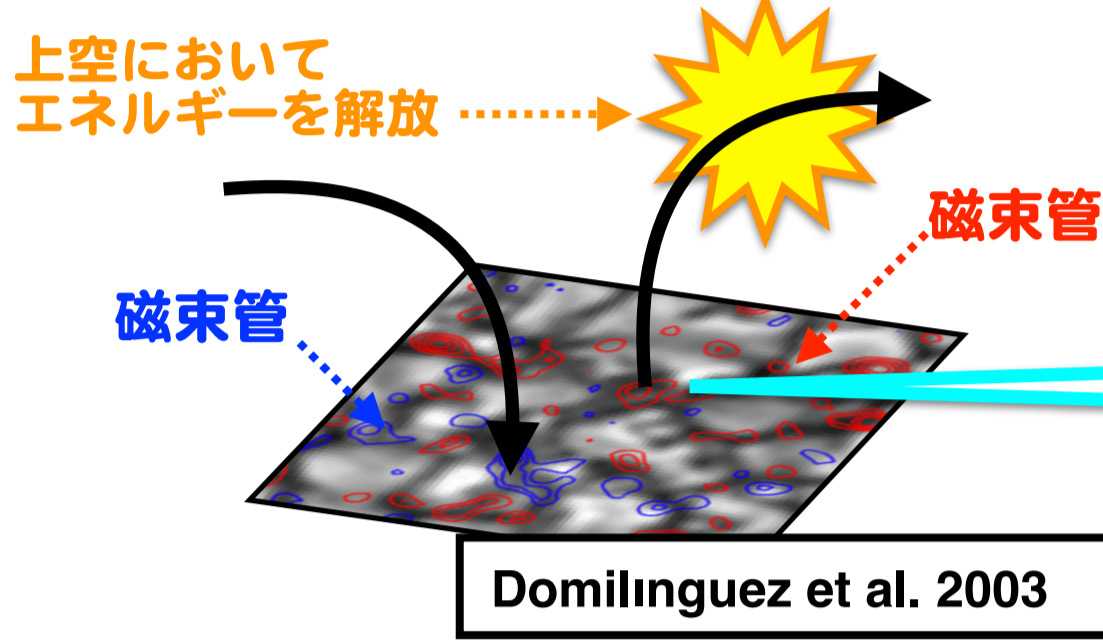
太陽内部から上昇してきた熱いガスが明るい粒(粒状斑)を生成
放射によって冷却され、周囲へ沈み込んでことで暗い溝(間隙)を生成

光球: 対流安定層



対流層: 対流不安定

水平対流運動が磁束管へエネルギーを注入?



課題 1: 水平対流速度場の振幅
上空大気加熱量を決定

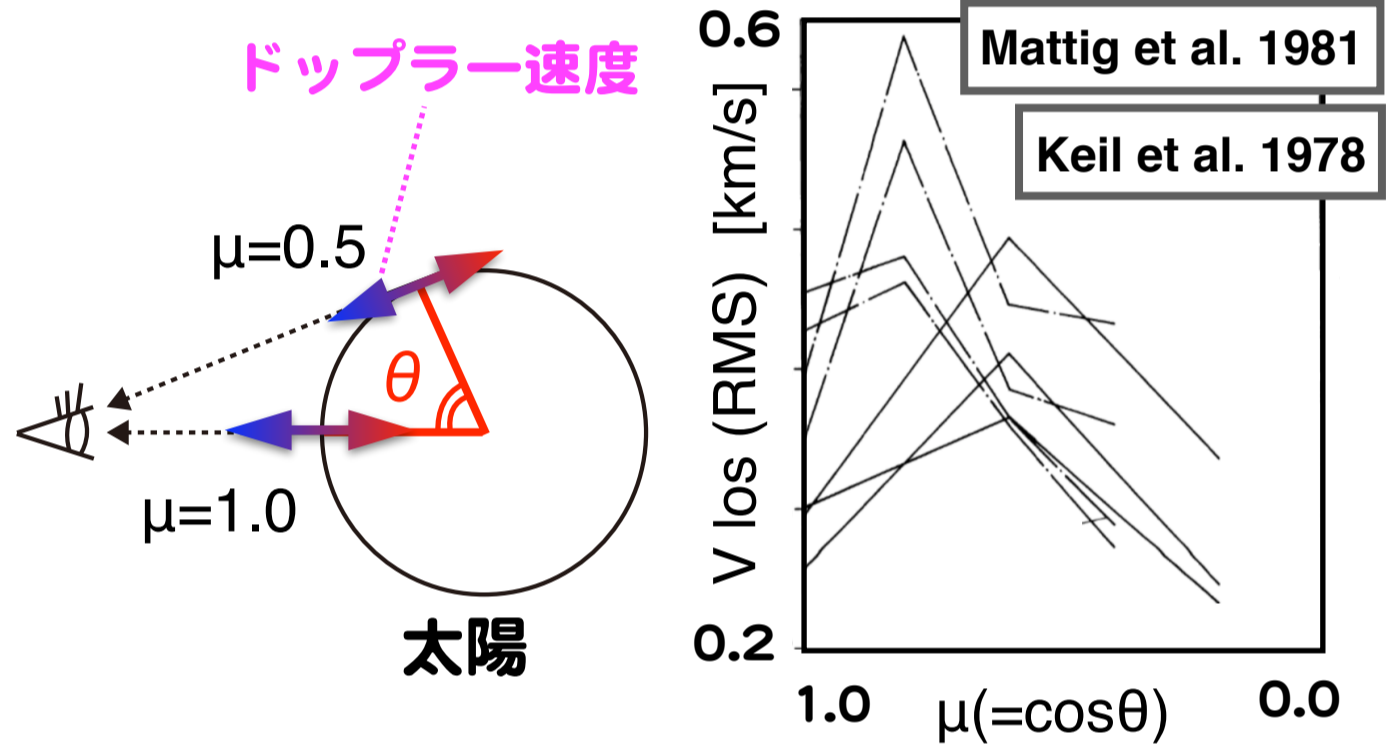


課題 2: 水平対流速度場の空間分布
間隙に分布する磁束管に
運動エネルギーを注入可能?

【先行研究の問題点】Vhの導出が困難

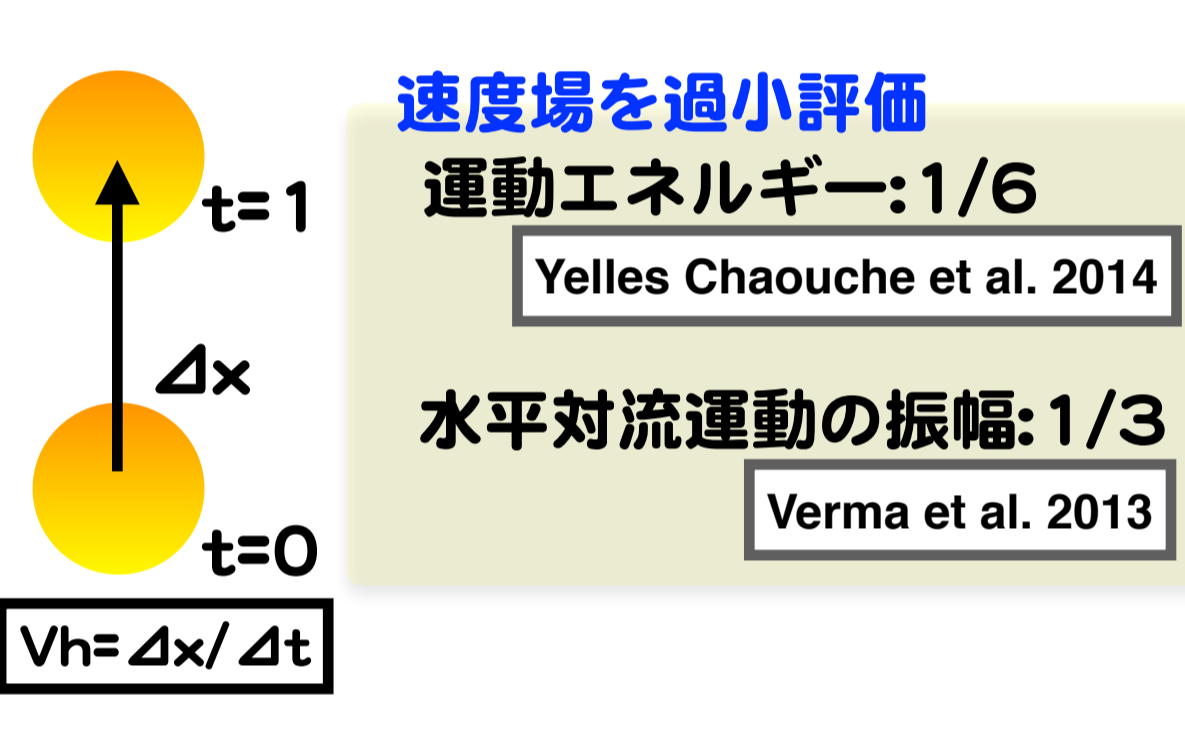
手法1: 太陽縁におけるドップラー測定

【懸念】空間分解能が不十分
遠近法によって空間構造の圧縮



手法2: Feature tracking technique

【懸念】追跡可能な特徴形状: 粒状斑のみ
間隙における対流速度場の抽出が困難



解決策: 「高空間分解能」+ 「ドップラー測定」
「ひので」の結像性能による画像劣化を補正し、分光データを解析

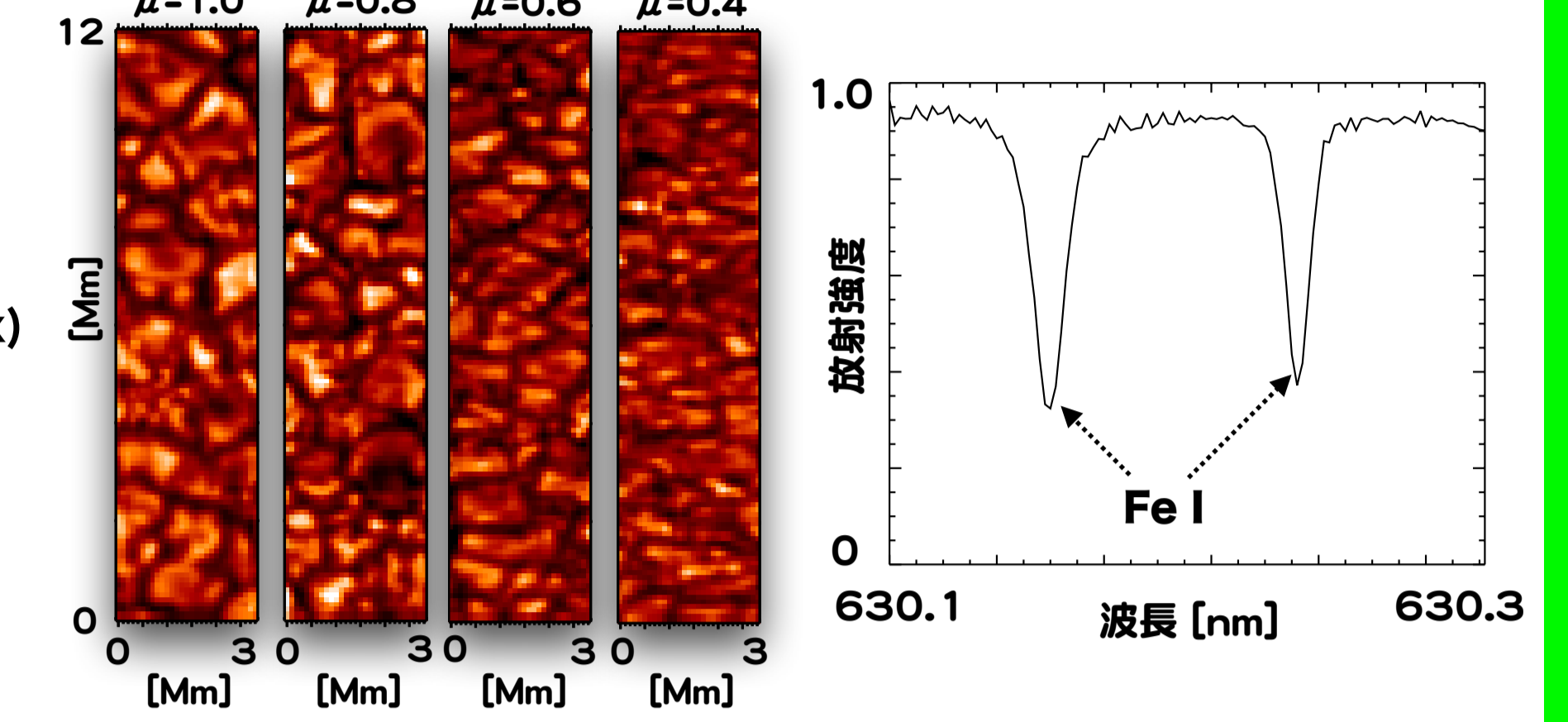
※補正手法については、Oba et al. 2017aを参照

2. Observation

ひので/偏光分光観測装置

全面スキャンデータ: $\mu=0.11-0.97, 1.00$

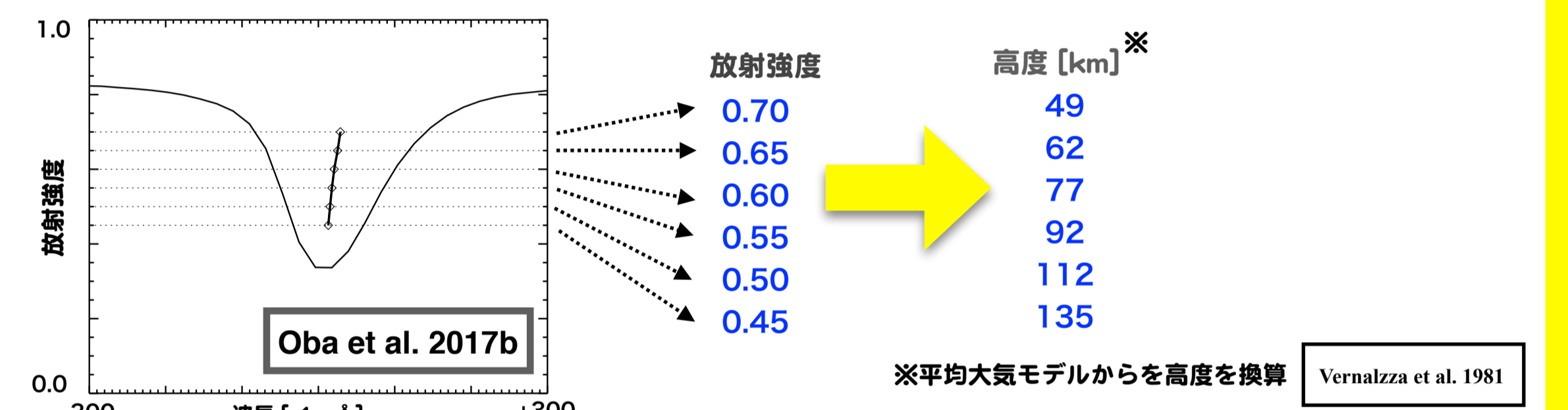
観測日時: 2009, 2016-2017
観測時間: 48-141 min
回折限界: 0.3
空間サンプリング: 0.15x0.16
視野: 4.5 x 81.2 (30 x 512 pix)
露光時間: 1.6 sec
時間間隔: 62 sec (for 1 scan)
観測波長: 630.1-630.3 nm
波長分解能: 3 pm



3. Analysis

【解析1】視線方向速度場(Vlos)の導出 吸収線の中心(bisector)の波長ズレからドップラー速度を計算

異なった放射強度がそれぞれの高さを反映 → 6点のVlosを取得



【解析2】水平対流速度場(Vh)の取得 視線方向速度場の緯度変化(mu=0.0-1.0)から推定

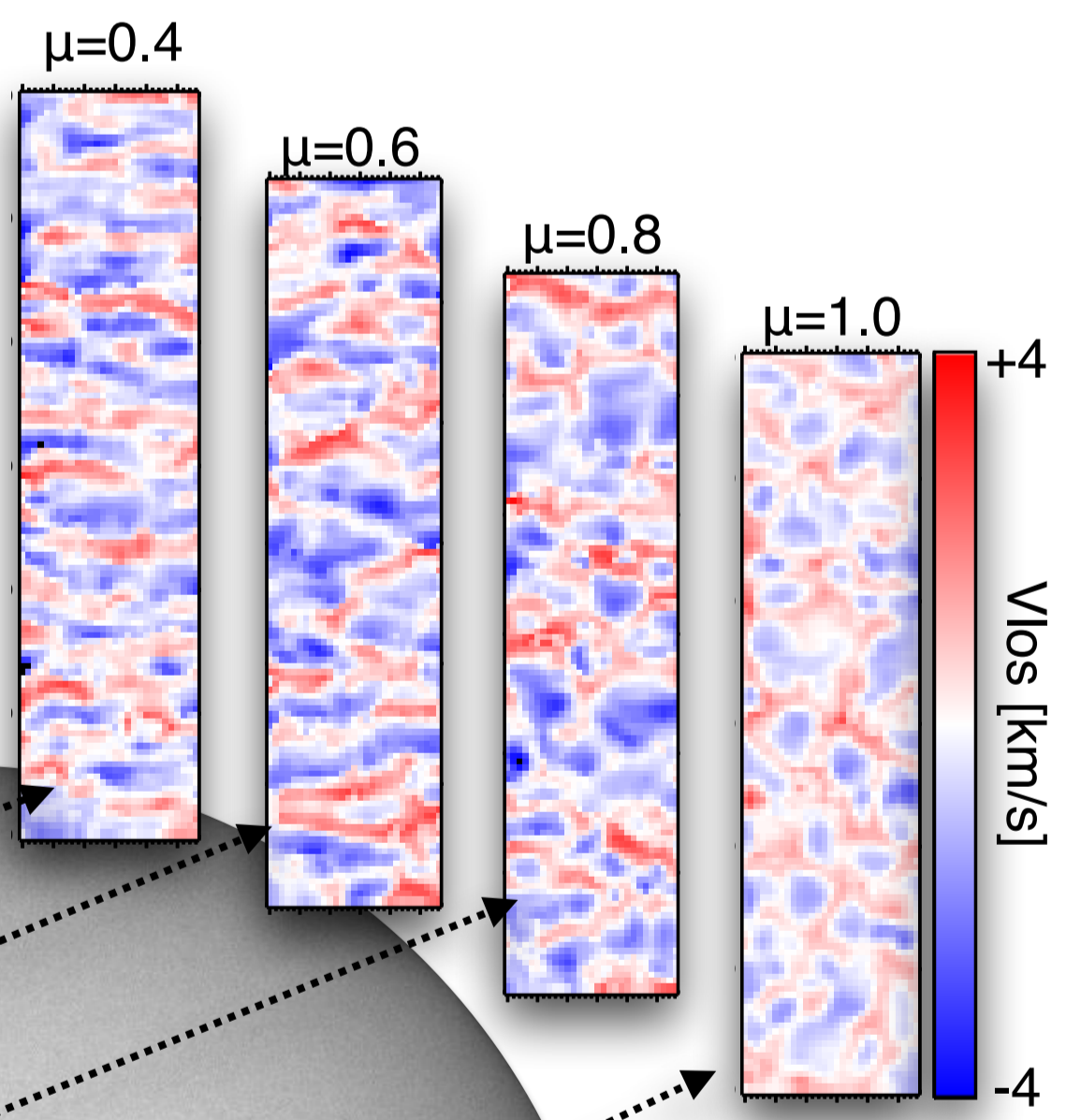
$$v_{los,rms}^2(\mu) = \mu^2 v_{ver,rms}^2 + (1 - \mu^2) v_{hor,rms}^2$$

視線方向速度場 観測可能 @ $\mu=0.0-1.0$
鉛直対流速度場 観測可能 @ $\mu=1.0$
水平対流速度場 (求めたい値)

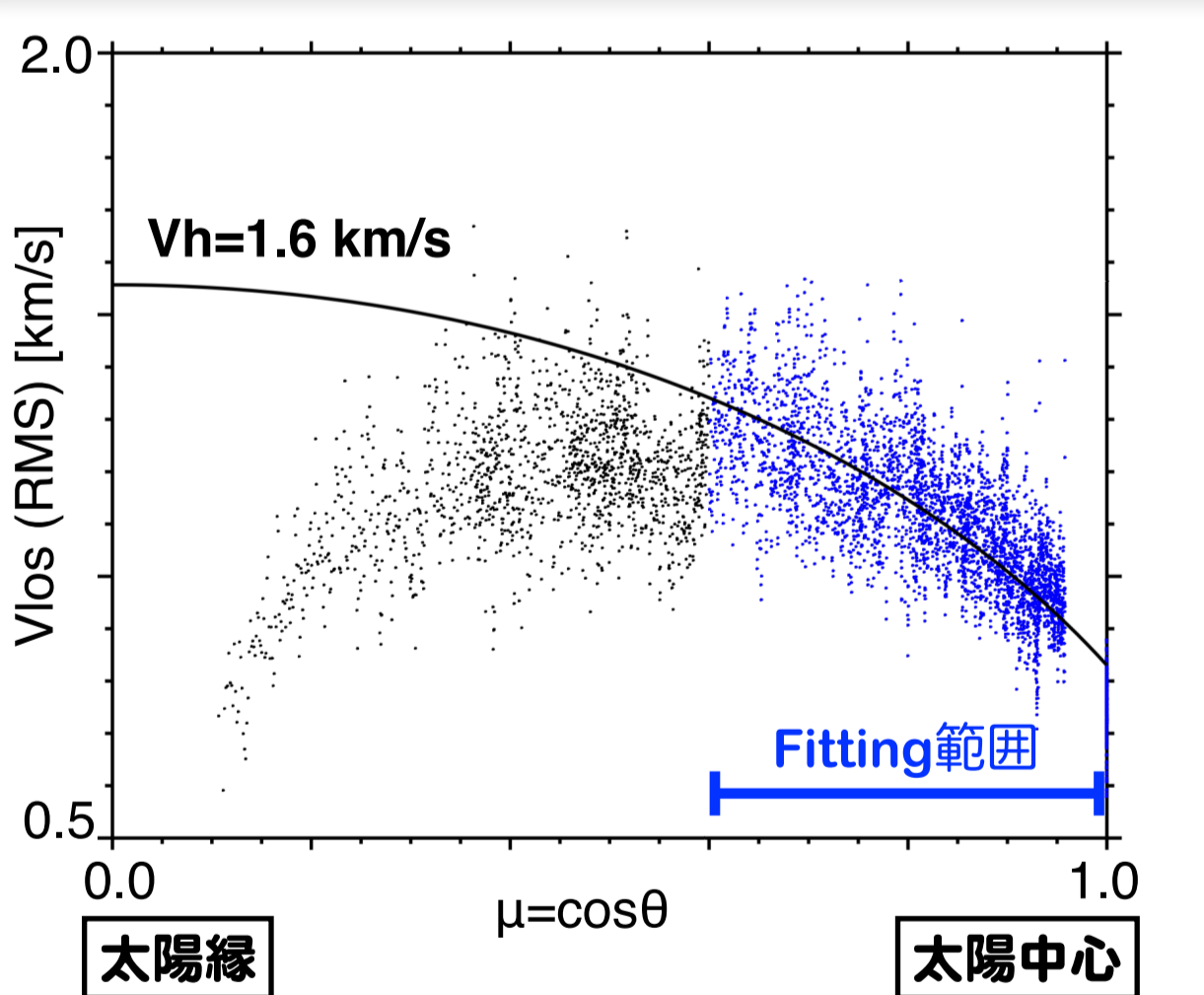
Vhの解: Fittingによって視線方向速度場変化(左辺)に最も適合した値

4. Results

【結果1】対流速度場のCenter-to-limb variation



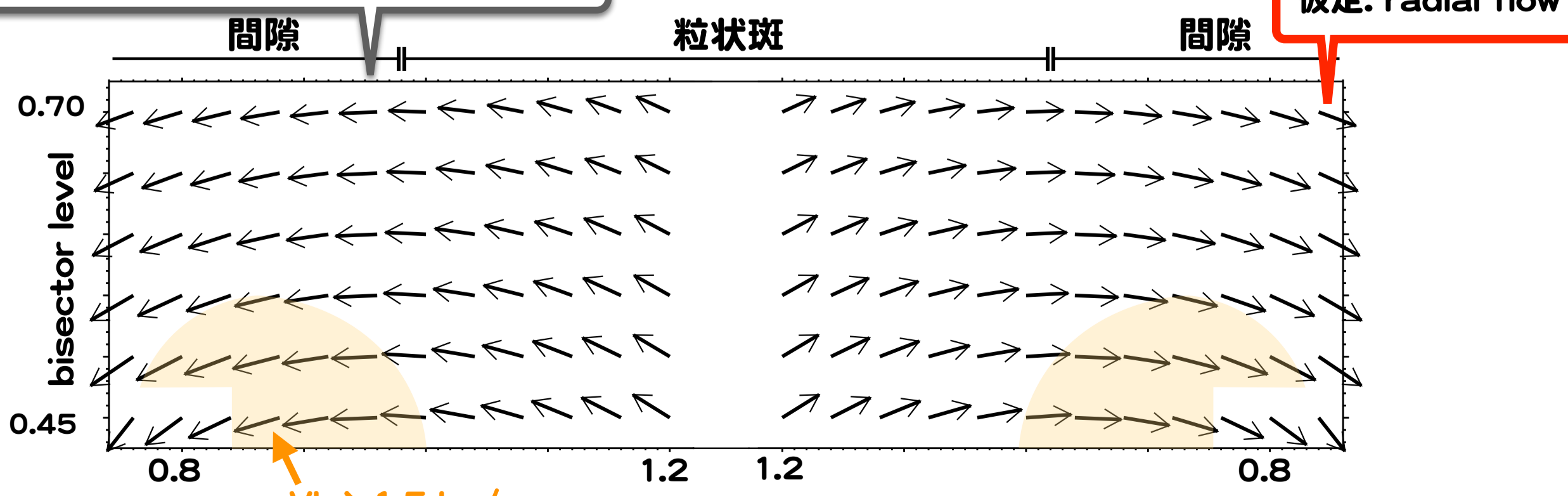
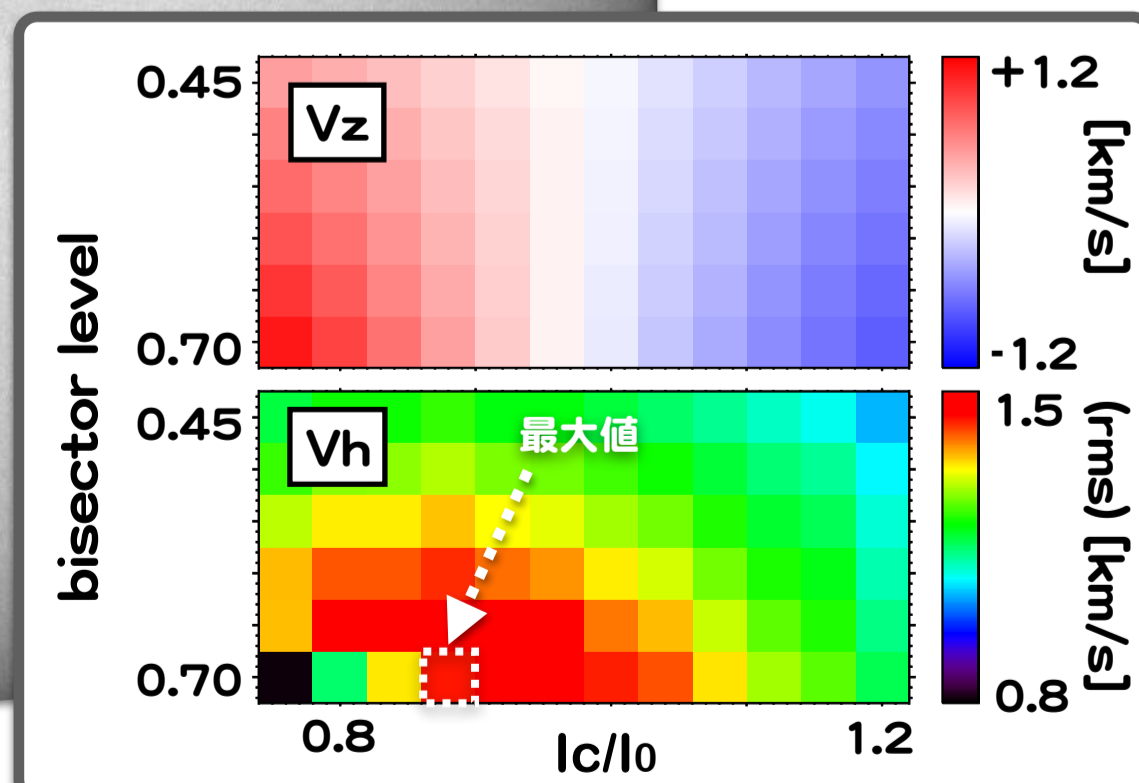
Fitting 範囲 ($\mu > 0.6$)
 $\mu < 0.6$: Vlos 増加 → $V_h > V_z$
 $\mu > 0.6$: Vlos 減少 → 遠近法による空間構造の圧縮



Fitting 範囲依存 ($\mu=0.6-1.0, \dots, 0.9-1.0$)
 $V_h: 1.6-1.9 \text{ km/s}$

【結果2】3次元対流速度場

粒状斑・間隙(lc/l0)ごとに導出
鉛直速度場: 太陽面中心 ($\mu=1.0$)
水平速度場: 視線方向速度場 ($\mu=0.6-1.0$)からFitting



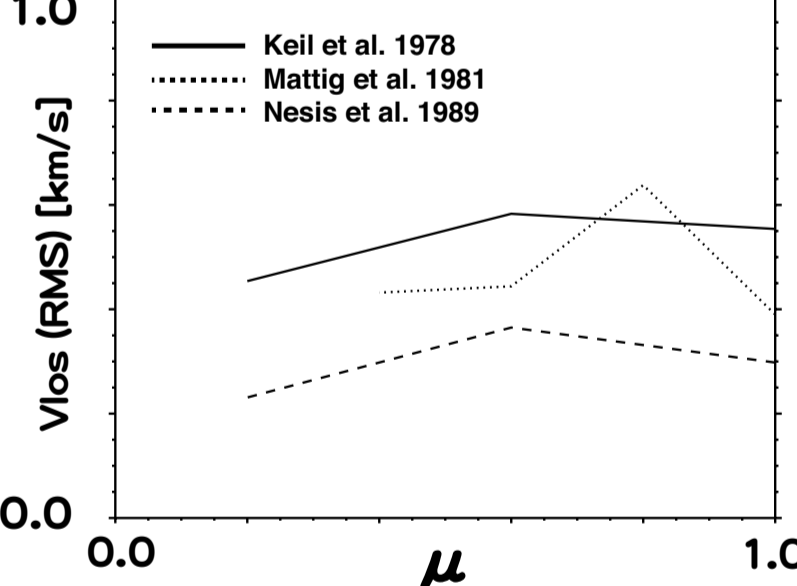
高空間分解能の達成により
間隙部(lc/l0=0.88)において、水平対流速度場が最大

5. Discussion

【議論1】水平対流速度場の振幅

A. 対流速度場の診断能力

先行研究1: ドップラー測定



先行研究2: Feature tracking technique

0.7 km/s	Brandt et al. 1988
1.1 km/s	Berger et al. 1998
0.6 km/s	Müller et al. 2001
1.1 km/s	Matsumoto & Kitai et al. 2010
1.3 km/s	Chitta et al. 2012

※両手法の懸念: 間隙における対流速度場の導出

本研究: [ドップラー解析] + [高空間分解]
 $1.6-1.9 \text{ km/s}$ (先行研究の2-3倍)

→ 間隙における運動エネルギーの抽出能力が向上

B. 理論大気加熱モデルで要求される光球における水平対流速度の振幅

上空大気におけるエネルギー散逸量に影響

※これまで: エネルギー変換効率の高い加熱モデル(要求値が低い)のみ説明可能

理論モデルにおける要求値

1.0 km/s	Moriyasu et al. 2004
0.7 km/s	Suzuki & Inutsuka et al. 2006
1.3 km/s	Antolin et al. 2008
1.5 km/s	van Ballegoijen et al. 2011
1.5 km/s	Woolsey & Cranmer 2015

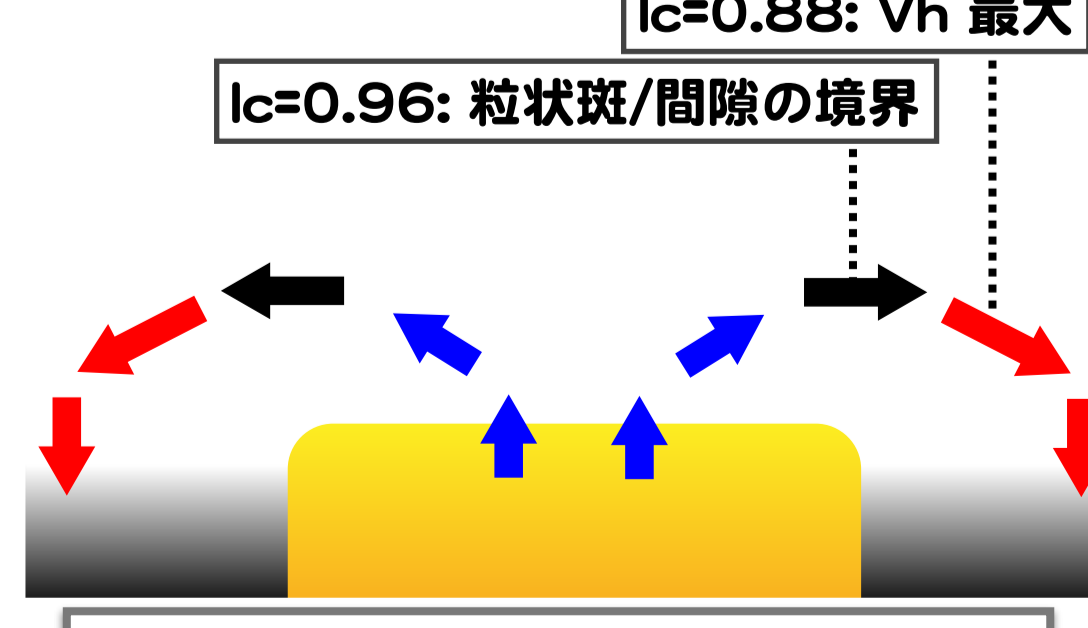
本研究で取得した振幅 ($1.6-1.9 \text{ km/s}$)
全モデルの要求値を達成

【議論2】3次元対流速度場

間隙に対する対流構造の概念

従来: 下降流の発生箇所

本研究: Vhの加速/減速が切り替わる箇所



3次元対流構造のシナリオ

粒状斑で湧き上がったガスが水平方向に加速され、間隙で最大速となった後に、減速して沈み込む

→ 間隙に分布する磁束管に、効率的に運動エネルギーを注入可能