

第44回火星勉強会

**Strong water isotopic anomalies in
the martian atmosphere: Probing
current and ancient reservoirs,
Villanueva et al., Science, 2015.**

2015/05/12 東北大学中川広務

概要:水同位体全球分布

- 火星大気中の**高空間分解能HDO/H₂O全球分布**を示す
(同Gと青木のプロシーディングスを除けば、初めての報告)
- **非一様性と非常に高いD/H(7-VSMOW)**を示唆
- BulkなD/Hを導出できたことで、失われた水量を推定

* MSLでは**5-6 VSMOW**、これまでの先行研究（地上観測）でも**5 VSMOW**。

序論: 水同位体分別

- 火星大気進化において失われた水量を知る上での重要な指標になる (DがHより質量が重いため宇宙への散逸を考えた際に**Hが散逸しやすい=D/H↑**)
- 火星大気中の水循環 (極冠-レゴリス-雲-大気) を知る上でも重要な指標になる (**HDOがH₂Oより凝結しやすい**)

* 最近の研究Moores+12では昇華時にもHDO/H₂Oが変化することを示唆。

手法:地上高分解能観測

- 地上近赤外分光観測: 高波長分解能($\lambda/\Delta\lambda=100,000-40,000$) + 高地4,000m(低水蒸気) + 相対速度大($>11\text{km/s}$) = 地球大気吸収を分離し、特に**H2O**を精度よく計測 (D/H導出誤差はH2Oで決まる)。

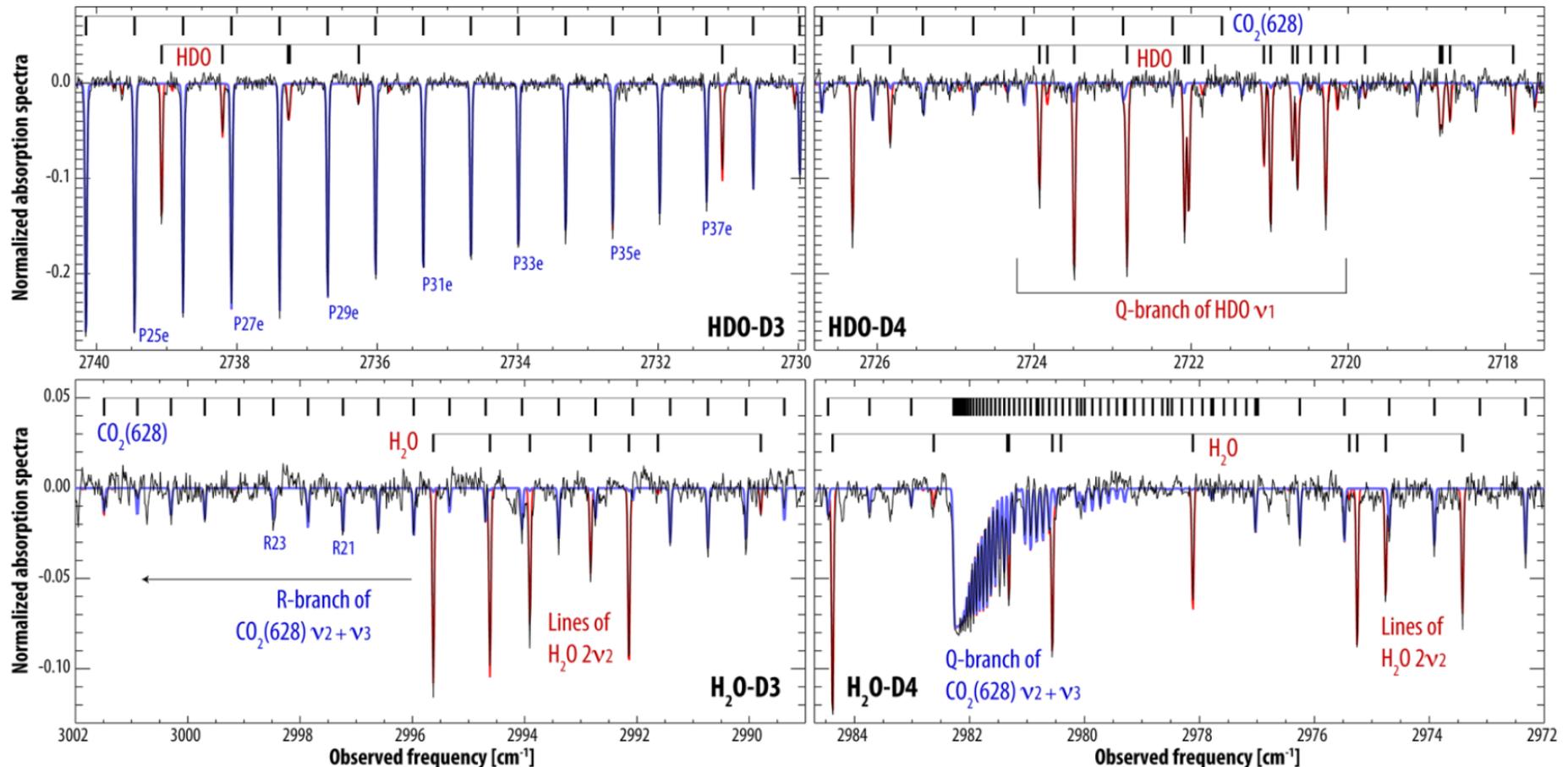


図. 観測で得られた火星H2O, HDO吸収スペクトル.

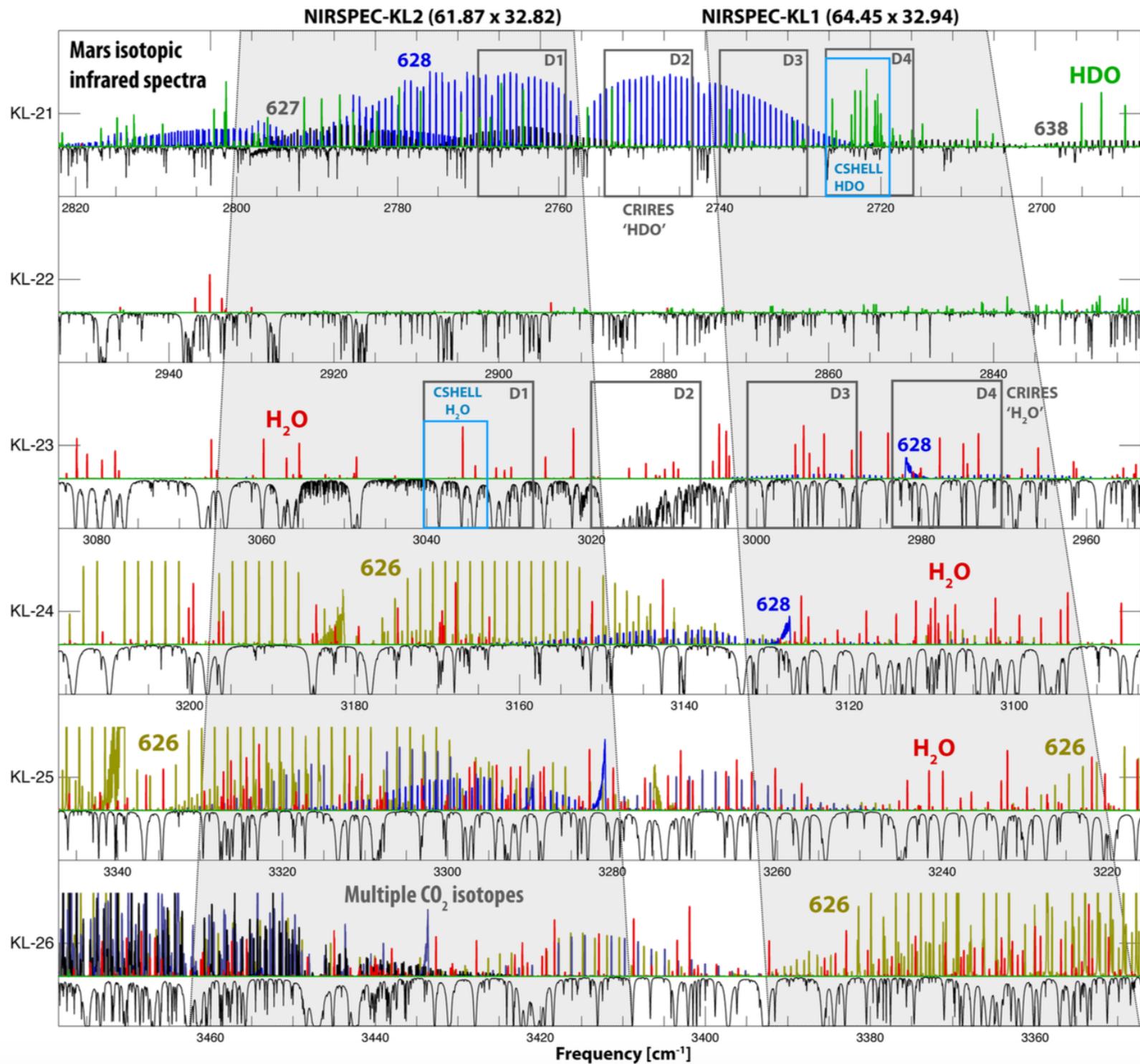


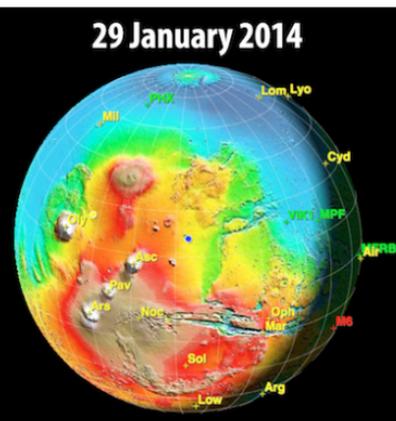
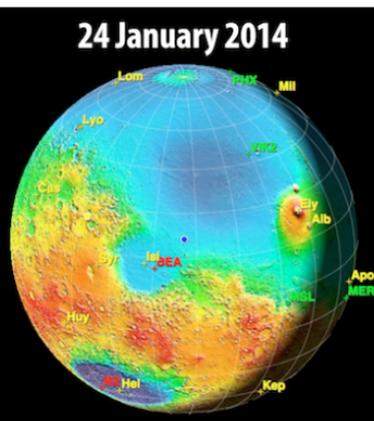
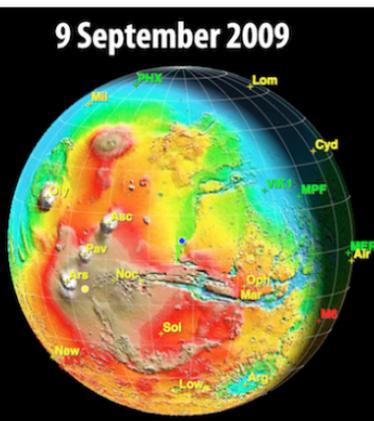
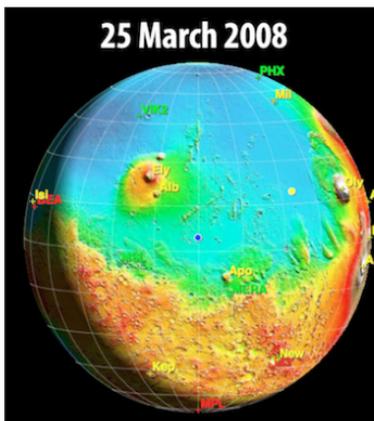
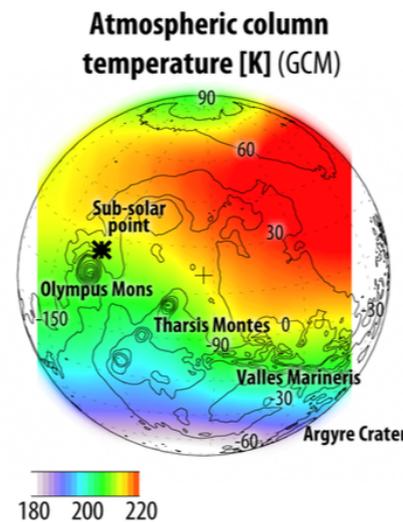
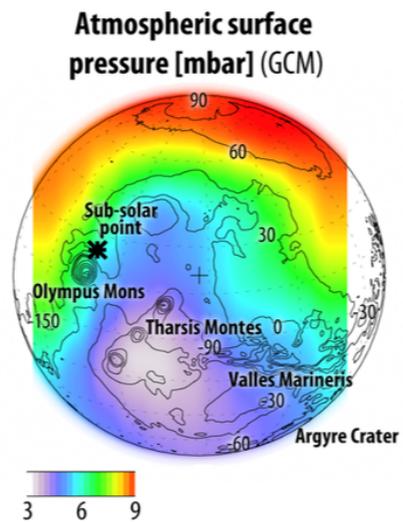
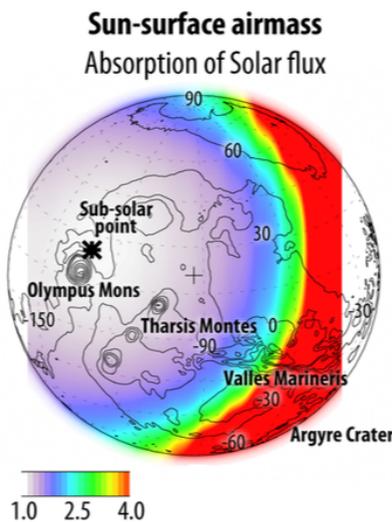
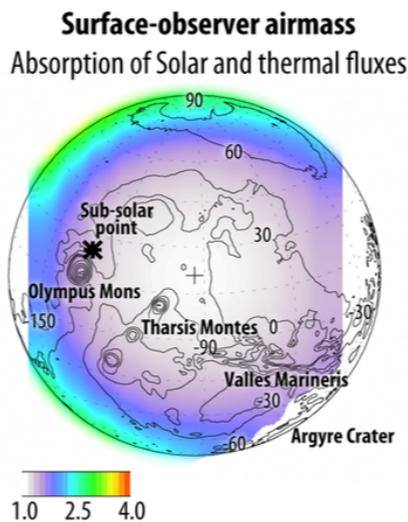
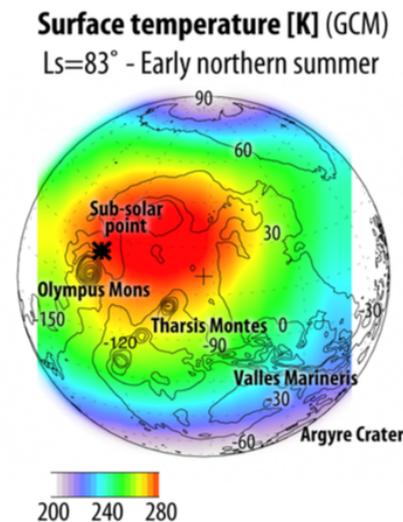
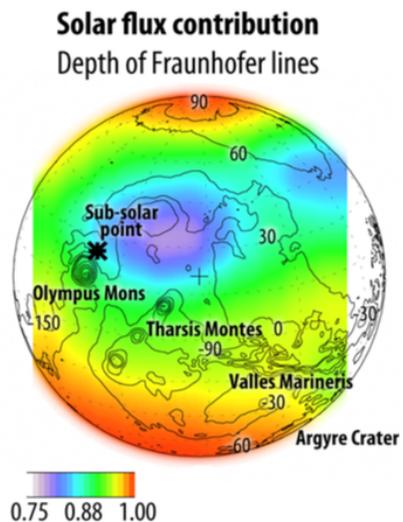
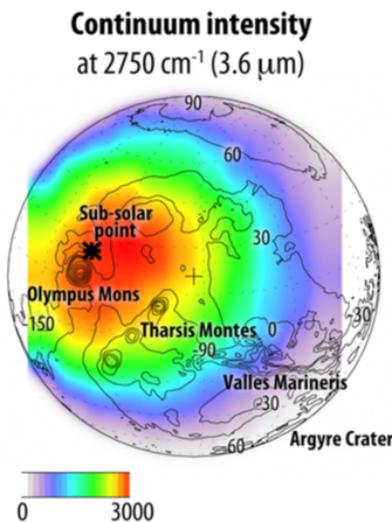
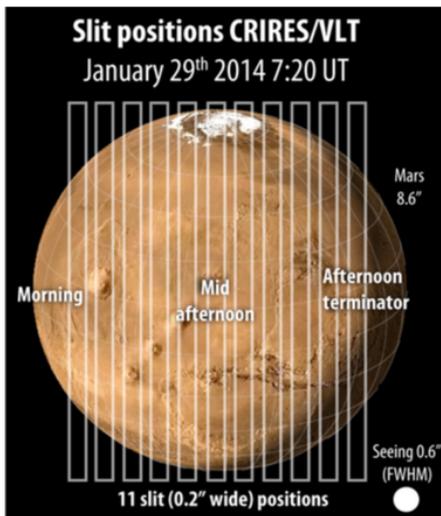
図. 観測で得られた近赤外スペクトル (地球大気吸収含む) .

- ・ 火星の冬から夏にかけて(Ls=335,50,80,83)
- ・ 相対速度が大きい条件のいいところのみを使用
- ・ 火星を9-11分割(**500km**分解能), **1-2時間**で**全球分布**取得

Date [UT]	Time [UT]	Season [Ls]	Setting	Slit Orient.	Number of slit Positions	Number of samples	FOV per sample [arcsec ²]	Mars diameter [arcsec]
Mar/25/2008	05:34 07:36	50	CSHELL HDO	N-S	9	144	0.5 x 0.6	7.4
Mar/25/2008	05:39 07:40	50	CSHELL H ₂ O	N-S	9	144	0.5 x 0.6	7.4
Sep/8/2009	08:55 09:51	335	CRIRES H ₂ O	N-S	9	135	0.2 x 0.43	6.0
Sep/9/2009	09:05 10:02	335	CRIRES HDO	N-S	9	135	0.2 x 0.43	6.0
Jan/24/2014	14:55 16:27	80	NIRSPEC KL1	N-S	11	187	0.288 x 0.6	8.3
Jan/29/2014	05:42 06:47	83	CRIRES H ₂ O	N-S	11	407	0.2 x 0.43	8.6
Jan/29/2014	06:55 08:00	83	CRIRES HDO	N-S	11	407	0.2 x 0.43	8.6
Jan/30/2014	07:05 08:10	83	CRIRES H ₂ O	E-W	11	407	0.2 x 0.43	8.7
Jan/30/2014	08:17 09:22	83	CRIRES HDO	E-W	11	407	0.2 x 0.43	8.7

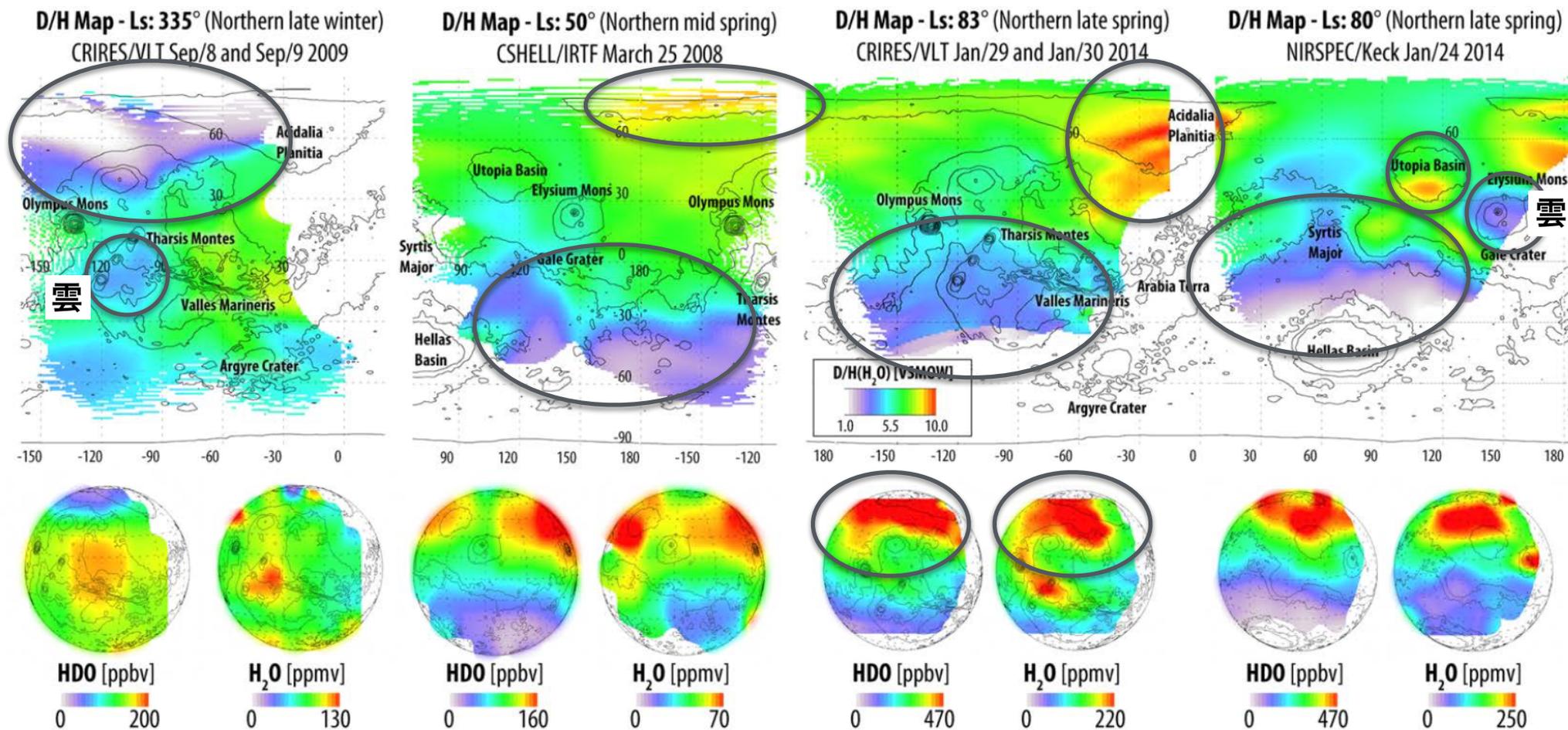
S1: Observation log

*典型的なシーイング0.6”

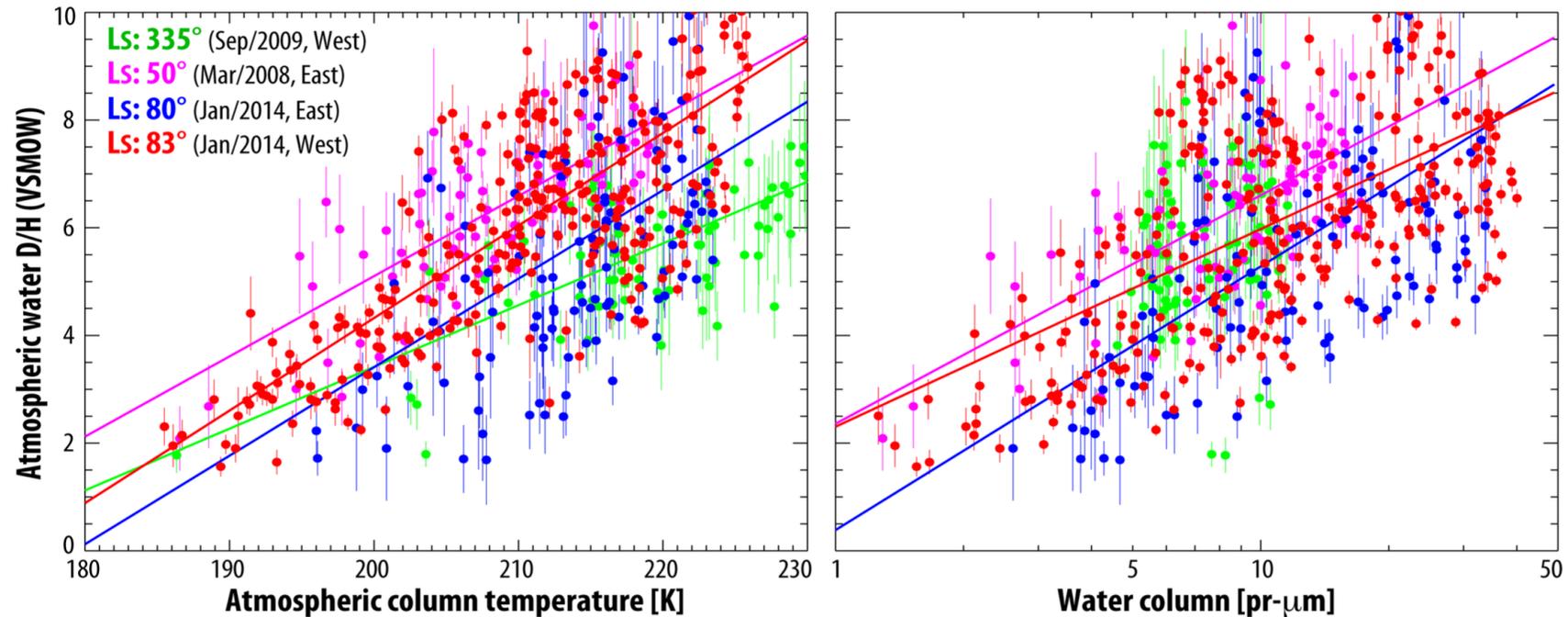


結果: 非一様性・高D/H

- 極冠から放出されたD/Hが高い値7-10 VSMOWを示唆（先行研究で報告されてきた全球平均的なD/H=5.0±2.0 VSMOWよりもかなり高い）（導出精度は左から**0.8, 0.4, 0.2, 0.5 VSMOW**） *地形や大気温度と関係するD/H分布を示している (Elysium Mons:高D/H, Basin:低D/H)



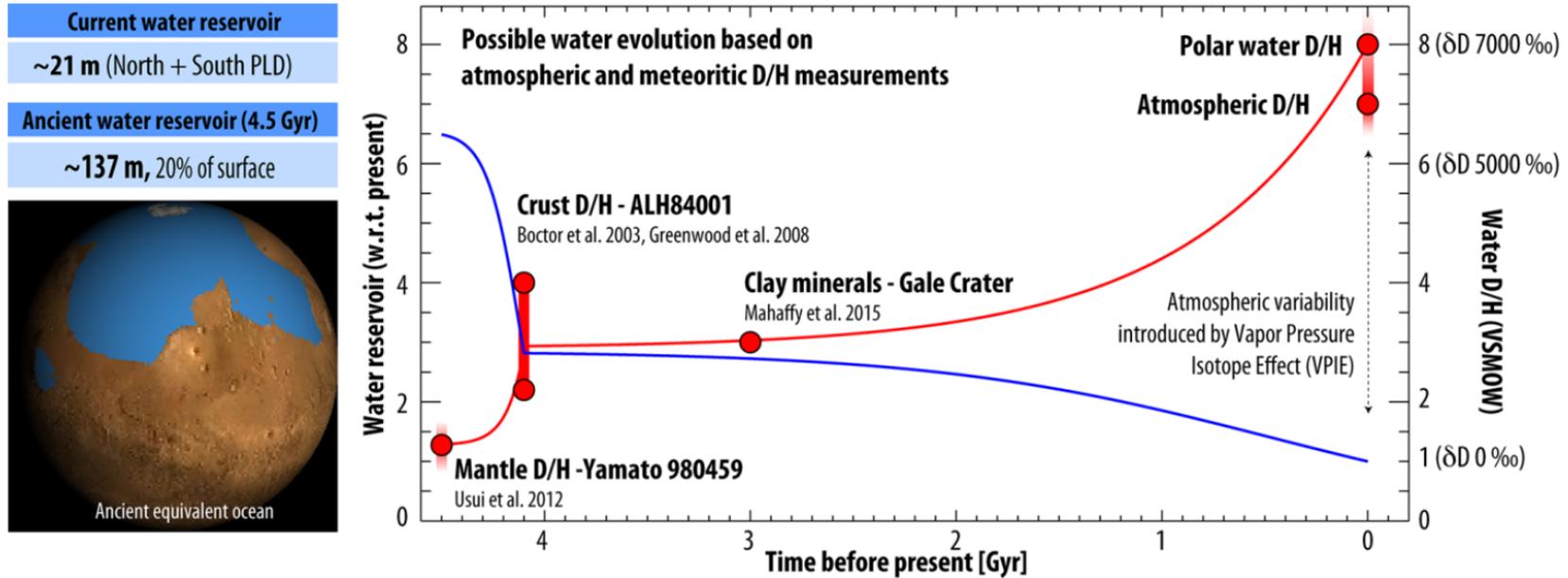
考察補足



- ・ HDO/H₂Oが温度に正の相関を持つ → 凝結時の分別係数が、温度が低くなれば低くなるほど大きくなるため (Montmessin+05 p3)
- ・ HDO/H₂OがH₂Oカラム量に正の相関を持つ → 凝結して水蒸気圧が減少したとすると、水蒸気圧が少ないほど、たくさん凝結するため HDO/H₂Oが小さくなる (Montmessin+05 p3)

- ・ 他にも湿度（凝結点）、ダスト粒子有無（凝結のしやすさ）、輸送過程もHDO/H₂Oに影響を及ぼす。しかし観測結果を説明するには現況モデル（Montmessin+05）では不足
- ・ Fisher+07で提案されたような複数の水のリザーバー（異なるHDO/H₂Oをもつ）を仮定すると、上記のとおりではない
- ・ 表層-極冠-大気中で十分混合があると仮定したら、観測された高D/Hはモデルで再現できないほど高い = greater loss of waterを示唆する結果と言える（Montmessin+05では水循環により極冠が大気中のD/Hより**15%**高い値を示すことが予測されている）
- ・ **本研究で示されたような時間的にも空間的にも十分分解されたデータを用いることで、気象的効果と分離することができ、火星大気進化の効果を初めて議論できる**

過去の火星水算出



- $M_p/M_c = (I_c/I_p)^{1/(1-f)}$
- 超高層大気D/H観測から fractionation escape rate: **f=0.02**
- 4.5Ga火星隕石分析より I_p **D/H=1.275 VSMOW**
- PLDから **$M_c=21m$ GEL & I_c D/H= 8 VSMOW** → **$M_p = 137m$**
- VBF 156m GEL ⇔ 137m → **missing 20m GEL**

* 過去の太陽の強いEUVなどを考慮にいれていないf & M_c の下限見積もり