

第23回天体スペクトル研究会

## 「おうし座RV型変光星U Monの 化学組成解析」

放送大学教養学部

井上 和俊

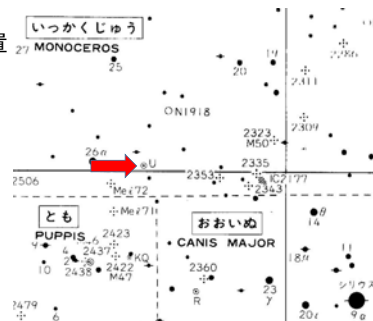
2018年2月25日

1

## おうし座RV型変光星 U Monとは？

天球上の位置

$7^{\text{h}}30^{\text{m}}47.47^{\text{s}}$   
 $-9^{\circ}46'36.8''$



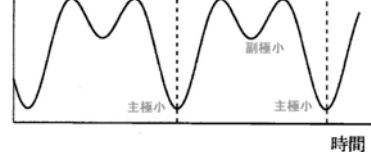
2

### 目的

1. 一角獣座U星 (U Monocerotis 略称: U Mon) の化学組成を求め、先行研究と比較する。  
成長曲線法で  
U Mon: Sun (Moonの観測値)  
U Mon: Sun (Table値)  
それぞれから求めた化学組成に差は無いのか
2. U Monの化学組成が金属欠乏になっている理由を明らかにする。

3

### RV型変光星 の 光度曲線



牡牛座RV型変光星の光度変化 (模式図)

U Mon: 光度変化  
5.45~7.67等級 (Watson 2015)

U Mon: 基本(主)周期=92.23日  
長周期=2475日 (Percy 1997)

4

スペクトル型: F8~K0

距離: 770pc・2510.2 light year

おうし座RV型変光星 (RV Tauri型変光星)

RVb型: 長周期変化も伴う

RVA型: スペクトルで酸素過剰、  
極小期にTiOの吸収帯がある。  
(5167 Å)

Post AGB 星: 白色矮星直前の恒星

(AGB: Asymptotic Giant Branch)  
(漸近巨星分枝)

5

### U Monの化学組成解析

データ1次処理と各元素量の決定

使用データ: ぐんま天文台 (GAOES)

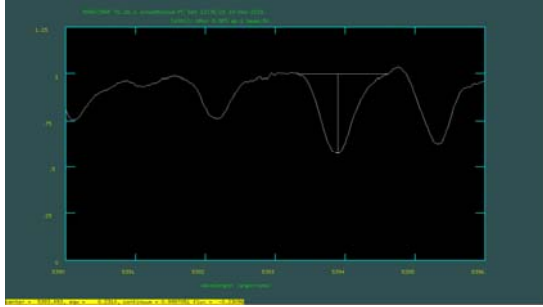
天体名	観測日	観測者
U Mon	2010.02.04	Honda
Moon	2008.05.15	Taguchi & Takahashi

= 使用ソフト =

IRAF (Image Reduction and Analysis Facility)  
COG1・3・5・6 (By Yoshioka)

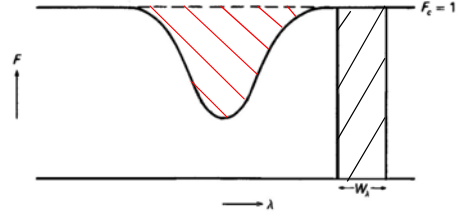
6

### 等価幅の測定



IRAF splot e-e

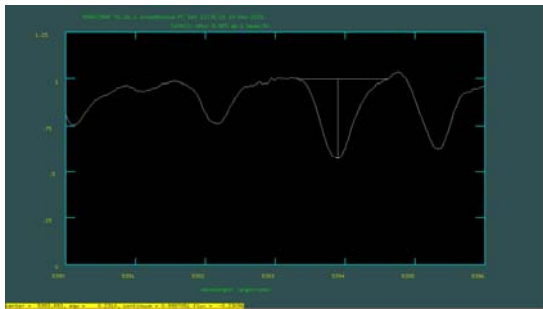
### 連続光と等価幅



Equivalent width (等価幅)  
(nm or Å)

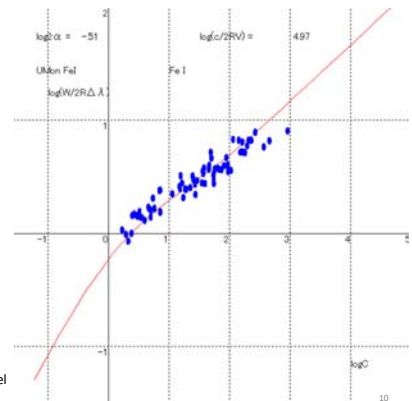
赤斜線部と黒斜線部の面積が等しい

### 等価幅の測定



IRAF splot e-e

### U Mon Fe I の 成長曲線



理論成長曲線は  
Hungerlによる  
Milne-Eddington Model  
1956

### U Monの各元素量と確率誤差

	[M/H]	Prob.Err	[M/Fe]	Prob.Err
Cl				
OI				
N				
Na I	-1.024	0.110	0.708	0.115
Mg I	-1.744	0.068	-0.012	0.075
Al I				
Si I	-1.176	0.053	0.556	0.062
Si II				
Si				
S I				
Ca I	-1.709	0.086	0.023	0.092
Sc I	-1.029	0.000	0.703	0.032
Sc II	-1.752	0.087	-0.020	0.093
Sc				
Sm	-1.511	0.100	0.221	0.105
Ti I	-1.504	0.081	0.228	0.087
Ti II	-1.882	0.105	-0.150	0.110
Ti	-1.645	0.123	0.087	0.127
V I	-1.370	0.078	0.362	0.084
V II	-1.975	0.000	-0.243	0.032
V	-1.471	0.070	0.261	0.077
Cr I	-1.618	0.119	0.114	0.123
Cr II	-1.787	0.116	-0.055	0.120
Cr	-1.705	0.057	0.027	0.065
Mn I	-2.056	0.106	-0.324	0.111

	[M/H]	Prob.Err	[M/Fe]	Prob.Err
Fe I	-1.716	0.116	0.016	0.120
Fe II	-1.873	0.345	-0.141	0.346
Fe	-1.732	0.032		0.045
Co I	-2.383	0.137	-0.651	0.141
Ni I	-1.820	0.058	-0.088	0.086
Cu I	-2.403	0.094	-0.671	0.099
Zn I	-2.102	0.260	-0.370	0.262
Y II	-1.571	0.097	0.161	0.102
Zr II				
Ba II	-0.876	0.263	0.856	0.265
La II				
Ce II				
Nd II	-1.722	0.000	0.010	0.032
Sm II				
Eu II				
phase	0.510			
observe	2010.2.4			
JD	2455231			
remark	副極小の付近			

### 先行研究 との比較

U Mon	Inoue	Moore	Taguchi	Tanaka	Luck & Bond	Kuschnik	Lam & Don									
	[M/H]/[M/Fe]	[M/H]/[M/Fe]	[M/H]/[M/Fe]	[M/H]/[M/Fe]	[M/H]/[M/Fe]	[M/H]/[M/Fe]	[M/H]/[M/Fe]									
Cl																
OI																
N																
Na I	-1.007	0.711			-0.98	0.51	-0.11	0.70	0.01	0.70	-0.34	0.45				
Mg I	-1.74	-0.01	0.78	-0.06	-1.05	-0.80	-0.92	-0.03	-0.24	0.88	-0.55	0.84	-0.75	0.04		
Al I																
Si I	-1.18	0.56	-1.27	0.45					-0.52	0.31	-0.51	-0.18				
Si II																
Si																
S I																
Ca I	-1.71	0.05							-0.78	0.08	-0.53	0.30			-0.45	0.84
Sc I	-1.03	0.02							-0.93	-0.04	-0.74	0.08	-0.71	-0.02	-0.86	-0.17
Sc II	-1.75	-0.02							0.04		-1.02	-0.80			-0.97	-0.18
Sc																
Sm	-1.51	0.12							-0.73		-1.21	-0.38	-0.89	-0.20		
Ti I	-1.50	0.13							-0.54		0.34					
Ti II	-1.88	-0.15							0.73		-0.75	0.08	-0.26	0.43		
Ti	-1.65	0.09														
V I	-1.37	0.08	0.48	0.23	0.81	0.01	0.24		0.23	-0.75	0.08				-0.70	0.09
V II	-1.97	-0.05														
V	-1.48	-0.04	-1.71	0.01	-0.92	-0.16	1.07		-0.83	-0.02	-1.11	0.44			-0.68	0.18
Cr I	-1.62	0.11	0.25	0.05	-0.82	-0.07	0.74		-0.18		-0.97	-0.14	-0.89	0.20		
Cr II	-1.79	-0.05	0.88	-0.10	-0.75	-0.01	0.93									
Cr	-1.74	0.03	0.85	-0.13	-0.93	0.12	0.72			0.04	-0.38	-0.15	-0.49	0.20		
Mn I	-2.05	-0.02														
Fe I	-1.72	0.02	1.08	0.03	0.75	0.01	0.99									
Fe II	-1.87	-0.14	0.56	-0.24	-0.78	-0.03	0.91									
Fe	-1.72	0.03	0.74	0.03												
Co I	-2.38	-0.05							1.49	-0.00	-0.79	0.03			-0.67	0.12
Co II	-2.02	-0.02							0.85	0.04	-0.87	-0.05			-0.93	-0.14
Co	-2.00	-0.07							-0.82							
Ni I	-1.87	0.07							0.81	0.08	-1.36	-0.56	-0.40	0.26	-1.02	0.08
Ni II	-1.67	0.13														
Ni	-1.77	0.08							-0.78							
Cu I	-2.40	0.06														
Cu II	-2.08	0.06							0.91		-0.84	-0.04	-0.50	0.24	-0.48	0.11
Cu	-2.14	0.05							0.94	-0.05	-1.18	-0.82	-1.18	-0.44	-1.08	0.02
Zn I	-2.12	0.01							-0.72	0.10	-1.07	-0.25	-1.22	-0.53	-0.68	0.11
Zn II	-1.75															
Zn	-1.93								-0.78	0.04	-0.78	0.01	-0.80	0.81	-0.68	0.10

注: Moore の値はInoueがU MonとMooreがTanakaからの等価幅の値を使用して、それぞれの値を求めた。  
注: Sc - V は加重平均の値をInoueで計算した。

Phase 0.51 0.49 0.50? 0.90 0.49 0.30

### 観測・解析の基本的事項

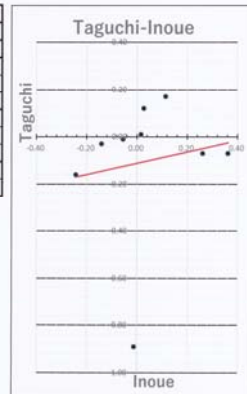
	Inoue	Taguchi	Tanaka	I・M	L&B	K&P	G&L&G
解析法	成長曲線法	成長曲線法	成長曲線法	成長曲線法	モデル大気法	モデル大気法	モデル大気法
観測	flux	flux	flux	flux	flux	flux	flux
標準星	flux	disk center	disk center	disk center	無し	無し	無し
観測装置	—いるし	同一	同一	同一	異なる	異なる	異なる
標準星値	観測値	table値	table値	table値	----	----	----
Telescope	1.5m	1.5m	1.5m		4m	6m	2.7m

L&B:Luck and Bond    K&P:Klochova and Punchuk  
G&L&G:Giridhar,Lambert and Gonzalez

13

### U Mon

	Inoue [M/Fe]	Taguchi [M/Fe]
Mg I	-0.012	-0.89
V I	0.362	-0.07
V II	-0.243	-0.16
V I, II	0.261	-0.07
Cr I	0.114	0.17
Cr II	-0.055	-0.01
Cr I, II	0.027	0.12
Fe I	0.016	0.01
Fe II	-0.141	-0.03



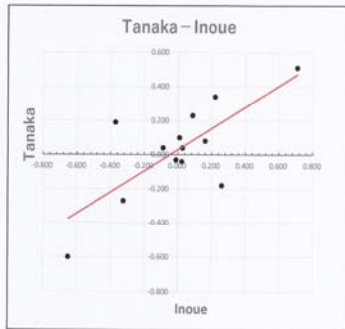
V I,II → V  
Cr I,II → Cr

相関曲線がねている。

14

### U Mon

	Inoue [M/Fe]	Tanaka [M/Fe]
Na I	0.708	0.510
Mg I	-0.012	-0.030
Ca I	0.023	-0.040
Sc	0.221	0.340
Ti	0.087	0.230
V	0.261	-0.180
Cr	0.027	0.040
Mn I	-0.324	-0.270
Co I	-0.651	-0.600
Ni I	-0.088	0.040
Zn I	-0.370	0.190
Y II	0.161	0.080
Nd II	0.010	0.100

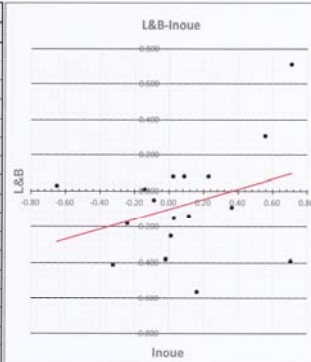


比較的良好一致している

15

### U Mon

	Inoue [M/Fe]	L&B [M/Fe]
Na I	0.708	0.710
Si I	0.556	0.310
Ca I	0.023	0.080
Sc I	0.703	-0.390
Sc II	-0.020	-0.380
Ti I	0.228	0.080
Ti I, II	0.087	0.080
V I	0.362	-0.090
V II	-0.243	-0.180
Cr I	0.114	-0.140
Cr I, II	0.027	-0.150
Mn I	-0.324	-0.410
Fe II	-0.141	0.010
Co I	-0.651	0.030
Ni I	-0.088	-0.050
Y II	0.161	-0.560
Nd II	0.010	-0.250

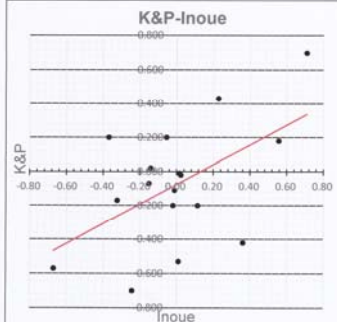


Ti I,II → Ti    Cr I,II → Cr

16

### U Mon

	Inoue [M/Fe]	K&P [M/Fe]
Na I	0.708	0.700
Mg I	-0.012	-0.110
Si I	0.556	0.180
Ca I	0.023	-0.020
Sc II	-0.020	-0.200
Ti I	0.228	0.430
Ti II	-0.150	-0.070
V I	0.362	-0.420
V II	-0.243	-0.700
Cr I	0.114	-0.200
Cr II	-0.055	0.200
Mn I	-0.324	-0.170
Fe I	0.016	-0.010
Fe II	-0.141	0.020
Cu I	-0.671	-0.570
Zn I	-0.370	0.200
Nd II	0.010	-0.530

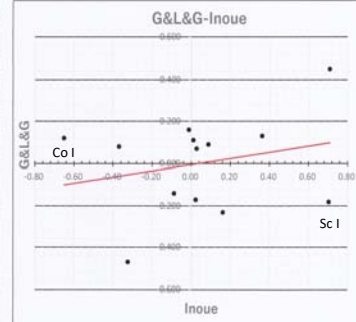


各点はばらばらであるが相関は悪くない。

17

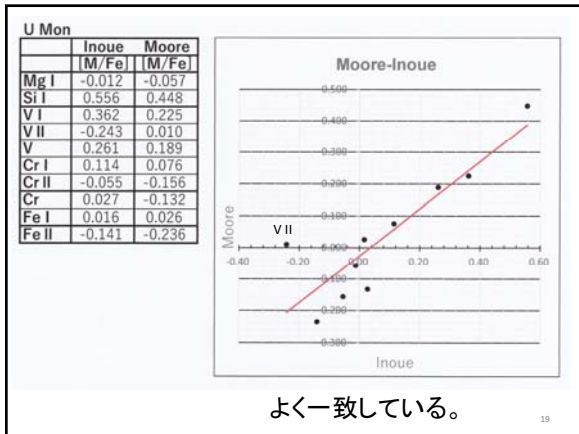
### U Mon

	Inoue [M/Fe]	G&L&G [M/Fe]
Na I	0.708	0.450
Mg I	-0.012	0.160
Ca I	0.023	-0.170
Sc I	0.703	-0.180
Ti I, II	0.087	0.090
V I	0.362	0.130
Cr I, II	0.027	0.070
Mn I	-0.324	-0.470
Co I	-0.651	0.120
Ni I	-0.088	-0.140
Zn I	-0.370	0.080
Y II	0.161	-0.230
Nd II	0.010	0.110



Ti I,II → Ti  
Cr I,II → Cr

18



U Mon (M/Fe) Inoueとの差						
	I-Moore	I-Taguchi	I-Tanaka	I-L&B	I-K&P	I-G&L&G
Cl						
O I						
Fe I						
Na I			0.20	0.00	0.01	0.28
Mg I	0.04	0.88	0.02		0.10	-0.17
Al I						
Si I	0.11			0.25	0.38	
S I						
Ca I			0.06	-0.06	0.04	0.19
Sc I						
Sc II					0.59	0.88
Ti I					0.36	0.18
Ti II			-0.12			
V I			0.15	-0.20		
V II						
V			-0.14	0.01	-0.08	0.00
Cr I	0.14	0.43		0.45	0.78	0.23
Cr II	-0.25	-0.06		-0.06	0.46	
Cr	0.07	0.33	0.44			
Cr I	0.04	-0.06		0.35	0.31	
Cr II	0.10	-0.05		-0.01	-0.26	
Cr	0.15	-0.02				
Mn I			-0.09	-0.09	-0.15	0.15
Fe I	-0.01	0.01				0.03
Fe II	-0.10	-0.11				-0.16
Fe						
Co I			-0.08	-0.08		-0.77
Ni I			-0.12	-0.04		0.02
Cu I					-0.10	
Zn I			-0.97	-0.08	-0.06	
V II			0.08	0.72	0.42	0.39
Zr II						
Ba II						
La II						
Ce II						
Nd II			-0.09	0.26	0.54	-0.10
Sm II						
Eu II						
phase						
observ						
JD						
remark						

※ V はline数を基として加重平均を計算した。

U Mon [M/Fe]について Inoueとの差

	I-Moore	I-Taguchi	I-Tanaka	I-L&B	I-K&P	I-G&L&G	記号	点数	0	10	Δ	x	x x
								total					
Cl													
O I													
Na I			Δ	○	○	x	10	20	0	-10	0		
Mg I	○	x x	○	○	○	Δ	20	30	0	0	-10		
Al I													
Si I	Δ			x	x		-20	0	0	-20	0		
Si II													
S I													
Ca I			○	○	○	Δ	30	30	0	0	0		
Sc I			x x	x x	x x	x x	-20	0	0	-20			
Sc II				x	Δ		-10	0	0	-10	0		
Se			Δ				0	0	0	0	0		
Ti I				Δ	Δ		0	0	0	0	0		
Ti II					○		10	10	0	0	0		
Ti			Δ	○	○		20	20	0	0	0		
V I	Δ	x		○	x x x	x	-40	0	0	-30	-10		
V II	x	○		○	○		0	20	0	-20	0		
V	○	x	x				-10	10	0	-20	0		
Cr I	○	○			x	x	0	20	0	-20	0		
Cr II	○	○			x	x	0	20	0	-20	0		
Cr	Δ	○	○	Δ	○		30	30	0	0	0		

色は各研究者が測定した元素を表している。

	I-Moore	I-Taguchi	I-Tanaka	I-L&B	I-K&P	I-G&L&G	記号	点数	0	10	Δ	x	x x
Mn I				○	○	Δ		30	30	0	0	0	0
Fe I	○	○			○			20	20	0	0	0	0
Fe II	○	Δ			Δ			10	10	0	0	0	0
Fe								0					
Co I				○	x x	x x		-10	10	0	0	-20	
Ni I				Δ	○			20	20	0	0	0	0
Cu I					○			10	10	0	0	0	0
Zn I		x x		x x	x x	x x		-30	0	0	0	-30	
Y II				○	x x	x		-20	10	0	-20	-10	
Zr II													
Ba II													
La II													
Ce II													
Nd II				○	x	x x	○	-10	20	0	-10	-20	
Sm II													
Eu II													

合計点数	50	20	50	-20	-20	-20							
○(%)	60.0	55.6	53.8	29.4	33.3	30.8							
Δ(%)	30.0	11.1	30.8	17.6	22.2	23.1							
x(%)	10.0	22.2	7.7	29.4	27.8	23.1							
x x(%)	0.0	11.1	7.7	17.6	16.7	23.1							
元素数	10	9	13	17	18	13							

○: 差が0.1dex以内  
 Δ: 差が0.1dex以上、0.2dex以内  
 x: 差が0.2dex以上、0.5dex以内  
 x x: 差が0.5dex以上

大気パラメータ

U Mon 大気パラメータ							
	Inoue	Moore	Taguchi	Tanaka	L&B	K&P	G&L&G
$\Delta \theta_{eff}$					0.31	0.13	0.14
$\Delta \theta I$	0.33	0.38	0.24	0.13			
$\Delta \theta II$	0.12	0.03	0.17	0.1			
$\xi t_{r,I} (km/s)$	3.650	3.647	3.8	4.0	5.0	6.0	2.5
$\xi t_{r,II} (km/s)$	4.561	6.086	3.9	5.1			
[PE]	-2.773	-2.434	-2.594	-2.0			
[g]	-3.948	-3.248	-2.644	-3.30	-5.23	-4.43	-4.43
Teff(K)	4603	4688	4688	5117	4250	5020	5000

TeffはTanakaの値が少し大きいですが他の3データはよく一致している。

結論

1) 成長曲線法  
 データの組み合わせ  
 U Mon(観測値): Sun(Moonの観測値)  
 U Mon(観測値): Sun(MooreのTable値)

成長曲線法で解析した双方の結果はほぼ一致しており、どちらの値を使用しても解析結果はほぼ同じになることが確認された。

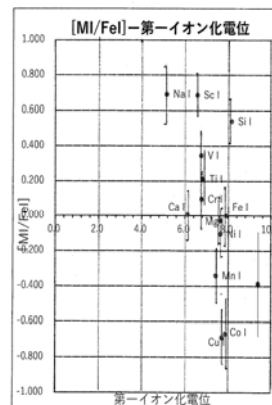
2) モデル大気法の解析とはフェイズがほぼ同じ、K&Pと一致点が多い。

### 金属量の欠乏について(H・He以外)

今回の解析と3諸説との比較

1. 第1イオン化説
2. 第2イオン化説
3. ダスト・ガス凝縮説

今回の解析結果と3諸説のうちどれが一致するのでしょうか？



### 第1イオン化説

第1イオン化電位の小さい元素ほど電離されやすいので左の図では相関曲線が**右上がり**になる。(Fe I → Fe II : 7.90eV)

この図では**右下がり**になっている。

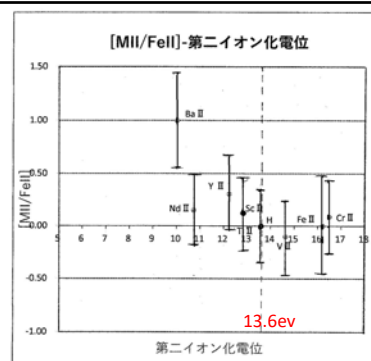
結論  
**この説と一致しない。**

(黒丸を通る縦線は確率誤差)

### 第2イオン化説

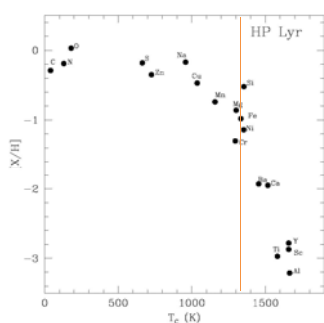
一回電離した水素イオンが中性に戻る時、そのエネルギーを得て、第2イオン化電位が**水素の第1イオン電位(13.6eV)**より小さい元素が第2イオンになり、電離した元素の第1イオン数が少なくなる。

この説が正しいとすると、13.6eVより小さい側(左側)では第1イオンが少なく、大きい側(右側)では相対的に多くなる。



この図では、反対になっているのでこの説と一致しない。

ダスト・ガス凝縮を受けると、

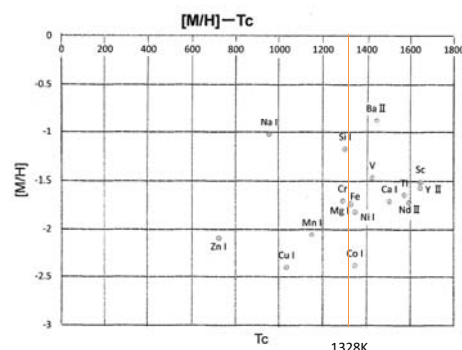


凝縮温度の高い元素

**少なくなる**

(Fe:1328K)

低温部で水平、高温部へ弓なりに下がる。



-1.5~-2.0間、1200K~1600Kに集中

ダスト・ガス凝縮を受けた場合の分布を示していない。

従って、この解析からは U Monはダスト・ガス凝縮を受けていないと云う結論となる。

この結論はこれまでの解析結果と一致している。

31

## 結 論

1) 第1イオン化説・第2イオン化説・ダスト・ガス凝縮説の3諸説とも、今回のU Monの解析と一致しない結果となった。

UMonの金属欠乏の理由は

？ ？ ？ ？

32