

第7回東大院生による ミニレクチャプログラム

太陽はなぜ燃える？いつまで燃える？
—保存則に支配された原子核の世界

新領域創成科学研究科

若林智章

自己紹介

名前：若林智章

所属：東京大学大学院新領域創成科学研究科

先端エネルギー工学専攻（柏キャンパス）

専門領域：理論物理学（宇宙に関する現象の理論的研究）

柏キャンパス

新領域創成科学研究科、宇宙線研究所、
物性研究所、大気海洋研究所、
カブリ数物連携宇宙研究機構、その他



（新領域パンフレットより）

目的と目標

目的

太陽の理解に、原子核物理の知識が必要であることを知る。

目標

- 水素燃焼において、反応・生成する元素を述べることができる。
- 現在の太陽のエネルギー源が、水素燃焼である観測的根拠を述べることができる。
- 太陽内でおこる核融合反応の変化と太陽の進化を関連づけて説明できる。

太陽と生命

- 太陽のエネルギーが地球の生態系を支えている。
- 複雑な生態系は長い時間をかけて形成されたので、太陽も長い間エネルギーを放出しているだろう。



太陽のエネルギーの源は？

太陽の年齢（＝地球の年齢）

- ① 35億年 ② 46億年 ③ 138億年

化学反応は？ → 約三千年で燃え尽きる。

（物質が酸素と結びつく反応）

原子核反応は？ → 約百億年燃え続ける。

原子核反応が、太陽のエネルギーの源のようだ。

原子核反応とは－物質の階層構造

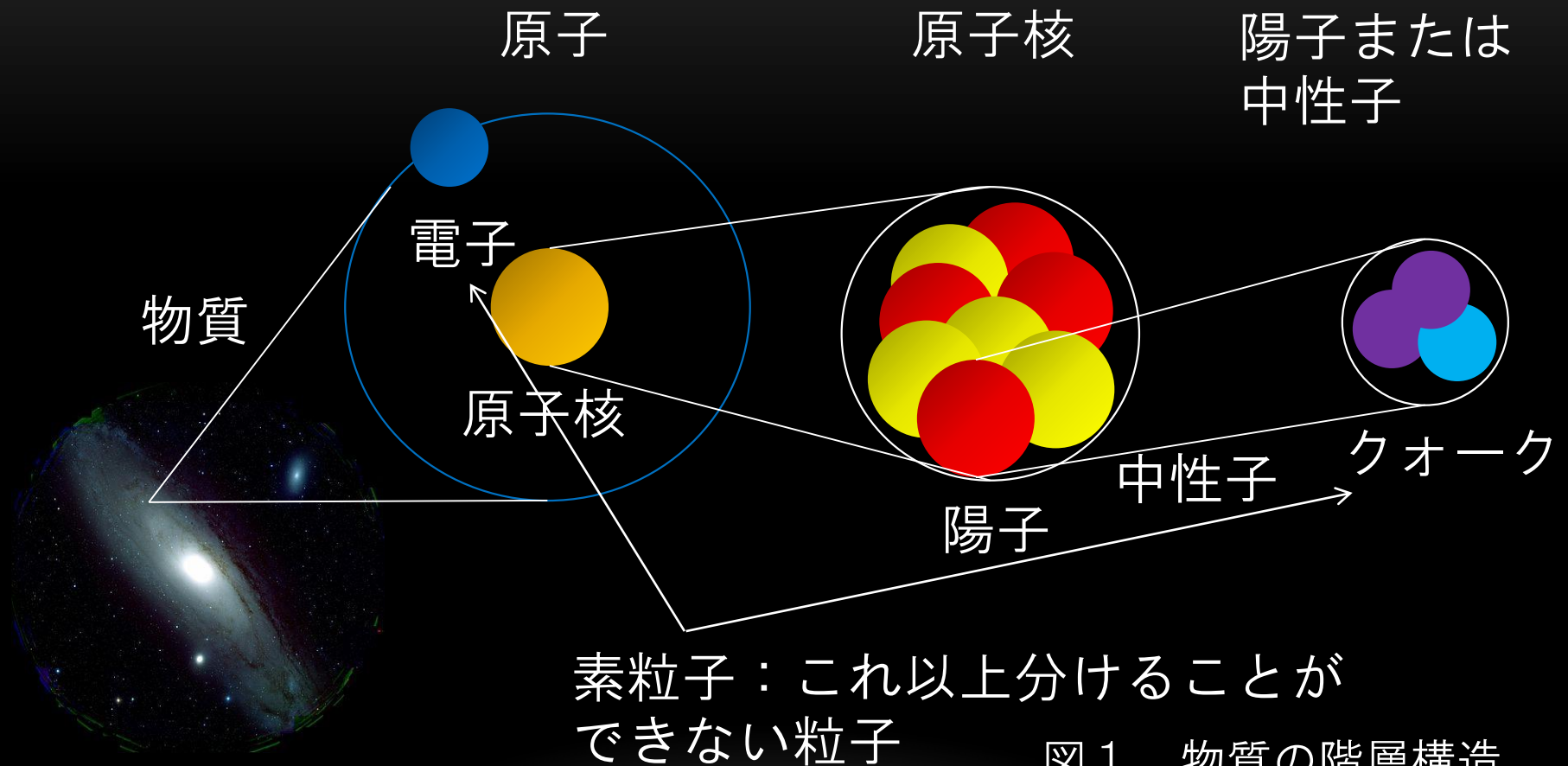


図1 物質の階層構造

<http://www.nao.ac.jp/news/topics/2013/20130731-subaru-hsc.html>

原子核反応とは - 素粒子の種類

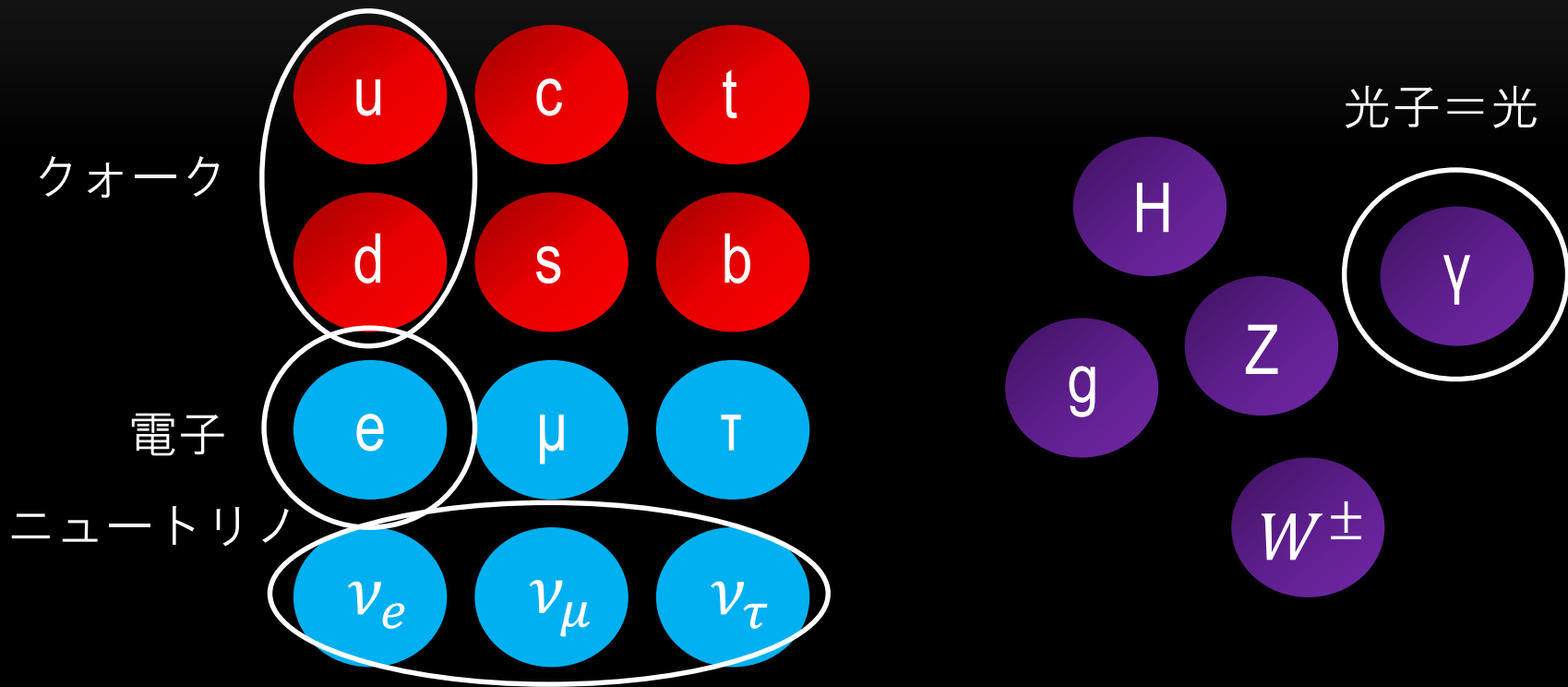
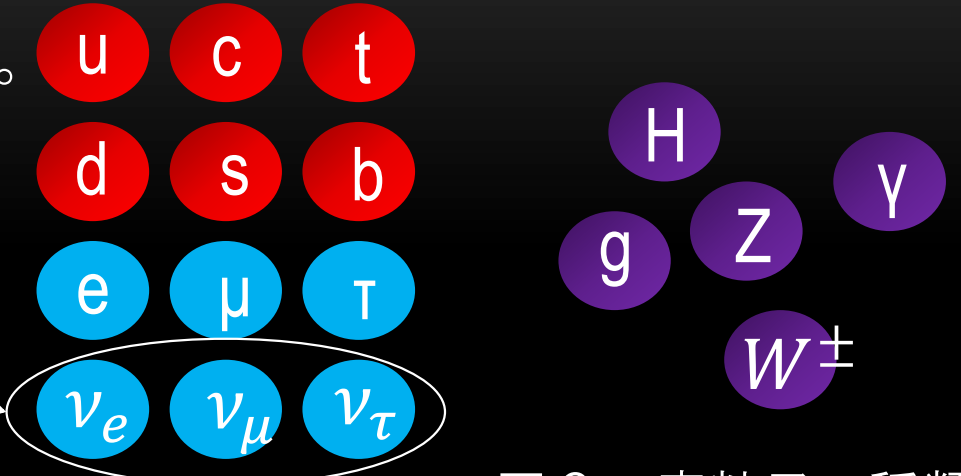


図2 素粒子の種類

原子核反応とは - ニュートリノの性質

- 原子核反応の際生成する。
 - 三種類ある。
- 
- 電子ニュートリノ、
ミューニュートリノ、
タウニュートリノ
- 他の粒子とはほとんど相互作用しない。
 - 種類は変化する（ニュートリノ振動）。

例： 電子ニュートリノ → ミューニュートリノ
タウニュートリノ → 電子ニュートリノ

図2 素粒子の種類

梶田隆章さん達のグループが、スーパーカミオカンデでニュートリノ振動を観測（2015年ノーベル物理学賞）。

原子

原子核反応とは - 核分裂と核融合



原子核反応：原子核の種類が変わる反応。

核分裂反応



核融合反応

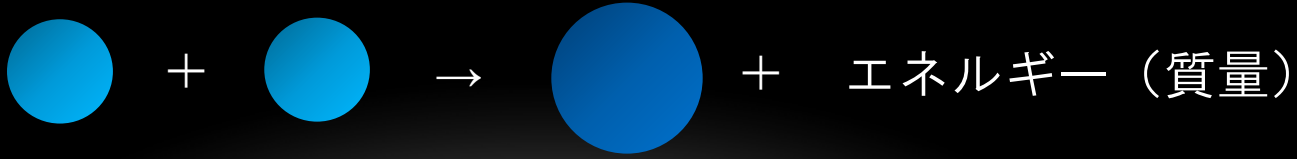
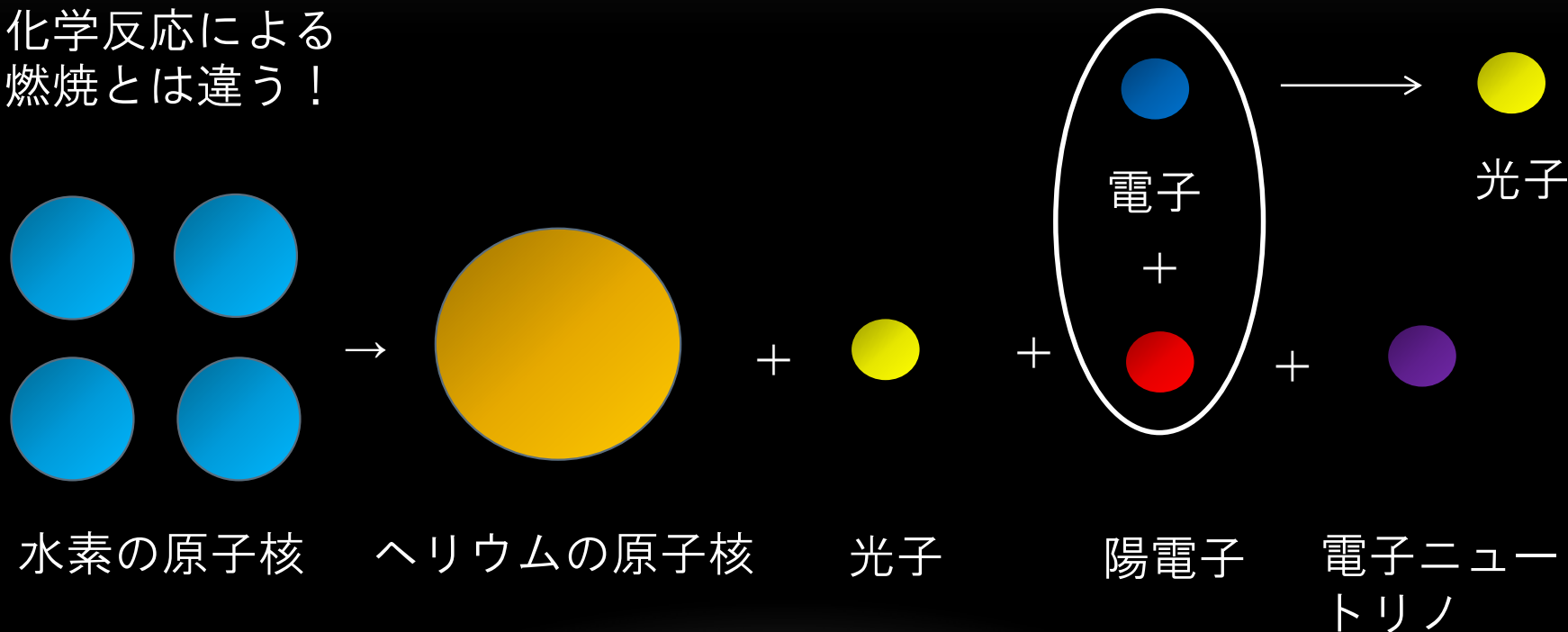


図3 核分裂と核融合

太陽のエネルギー源＝水素燃焼（核融合）

水素燃焼（核融合）： 四つの水素の原子核から、一つのヘリウムの原子核が生成する核融合反応。

↑
化学反応による
燃焼とは違う！



様々な保存則により決まる反応。

図4 水素燃焼

太陽からの素粒子



図5 太陽からの素粒子

水素燃焼の証拠は？ (個人2分+ペア1分)

問題1

太陽からのある粒子を観測することで、現在も太陽内で水素燃焼が起こっていることを確認できる。この粒子は何ですか？

水素燃焼の際生成する電子ニュートリノを地球で観測すると、予想される数よりも少ない（太陽ニュートリノ問題）。しかし、ニュートリノ振動の効果を考慮すると、予想される電子ニュートリノの数とほぼ一致する。

であった。その理由と考えられる現象は何ですか？

解答： ニュートリノ振動

太陽の進化

ヘリウム燃焼（核融合）： 三つのヘリウムの原子核から、一つの炭素と酸素の原子核が生成する核融合反応。

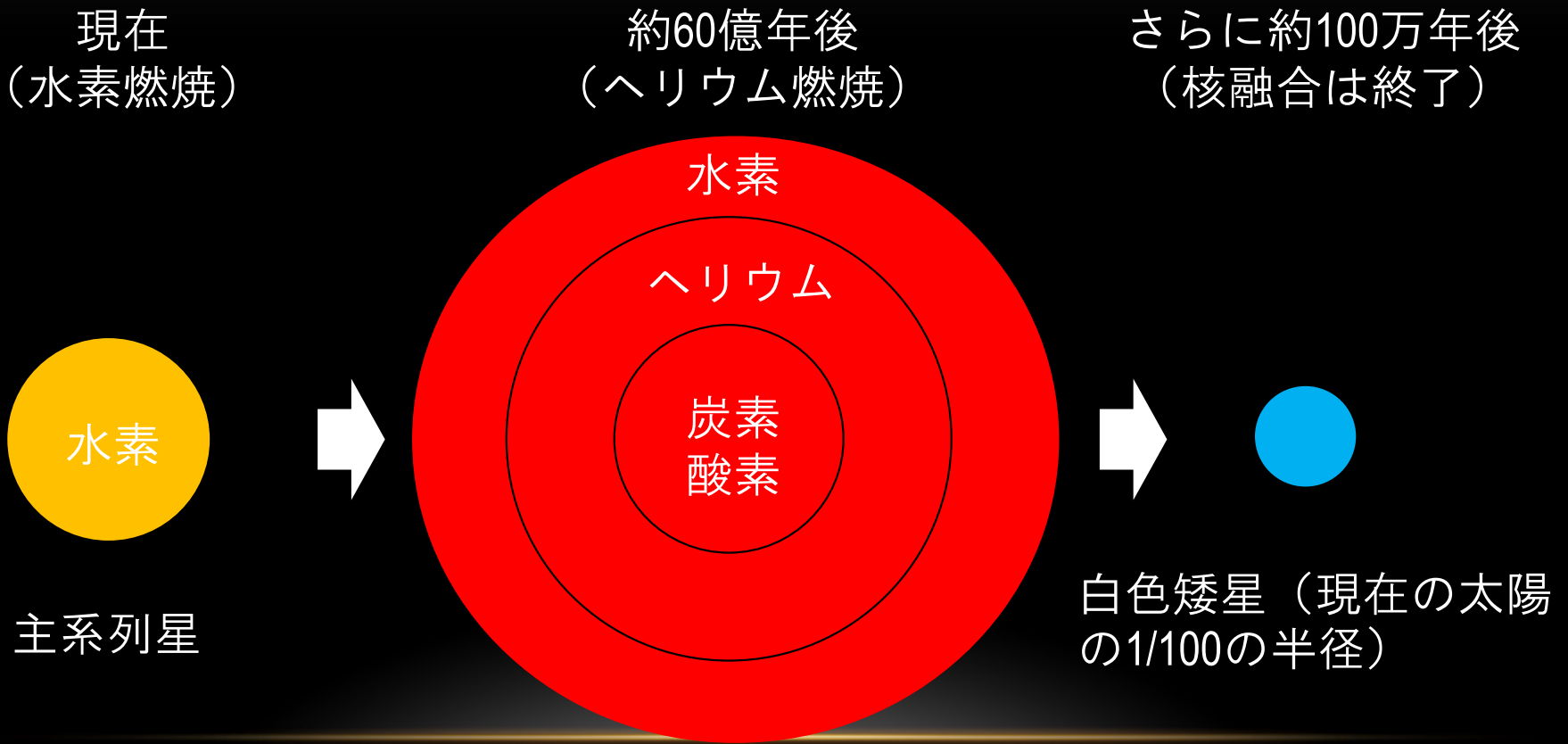


図6 太陽の進化

赤色巨星（現在の太陽の数10倍から数100倍の半径）

まとめと確認テスト

- 太陽のエネルギー源は水素燃焼である。この反応では、水素の原子核四つから **ア** の原子核一つが生成し、エネルギーを放出する。
- 現在も太陽内部で水素燃焼が起きていることを確認するためには、水素燃焼の際に生成される **イ** を観測すればよい。
- **ウ** によって電子ニュートリノは別のタイプのニュートリノに変化する。
- 太陽は現在から約60億年経過すると、ヘリウムの原子核三つが核融合反応を起こし、炭素と **エ** の原子核をそれぞれ一つ生成する。このとき、太陽は膨張し赤色巨星と呼ばれる状態になる。最期は高密度な天体である白色矮星となり、核融合反応は終了する。

確認テスト 正しい組み合わせはどれですか？

- ① ア：リチウム イ：電子ニュートリノ ウ：ニュートリノ振動 エ：酸素
② ア：ヘリウム イ：ミューニュートリノ ウ：単振動 エ：窒素
③ ア：ヘリウム イ：電子ニュートリノ ウ：ニュートリノ振動 エ：酸素

工夫したところ

- 宇宙論もいいけど、身近な天体である太陽をテーマとした。
- みんな聞いたことがあるニュートリノが重要となる原子核反応に注目した。
- 見慣れない記号や数式は必要ない。

参考文献

[1] 矢治健太郎 (2009) 『太陽と地球の不思議がわかる本』
PHP研究所

一般向け。気軽に読める入門書。ミニレクチャでは扱えなかったプラズマや磁場についての記載もある。

[2] 柴田一成 (2010) 『太陽の科学—磁場から宇宙の謎に迫る』
NHK出版

一般向けだが、[1]よりも詳しく書かれている。扱われている内容は豊富。

[3] 桜井隆ほか編 (2009) 『太陽』 (シリーズ現代の天文学10)
日本評論社

専門書。物理の基礎がないと読むのは難しい。同じシリーズの他の巻を参照すると、より理解が深まる。