

3.1.2 光球 — 対流と磁場の相互作用

一本 潔 (京都大学)

(2020年2月23日受付、2021年5月31日公開)

静穏領域の可視光高解像度画像を見てまず目に入るのは、太陽全面を覆う粒状斑である(図1)。大きさ1500km程度の対流泡で10分程度の時間スケールで生成消滅し、内部から熱エネルギーを運ぶことにより太陽の表面温度を維持している。粒状斑と粒状斑の間隙には大きさ100~200kmの明るい輝点が一列に存在している。これは1kG程度の磁場が集中したところで、動画を見ると粒状斑の対流運動によって絶えず水平方向に揺り動かされているのがわかる。これらの光球輝点が並ぶ領域は、粒状斑よりも空間スケールの大きな水平流がぶつかる場所であり、静穏領域に存在する磁場が掃き寄せられて集まった結果、形成される。この大きな流れの構造は超粒状斑と呼ばれ、典型的な大きさは約3万km、1日程度の寿命を持つ。太陽面にはその他にもサイズ1万~2万kmの中間粒状斑が存在することも知られており、このように対流は階層構造をなしている。

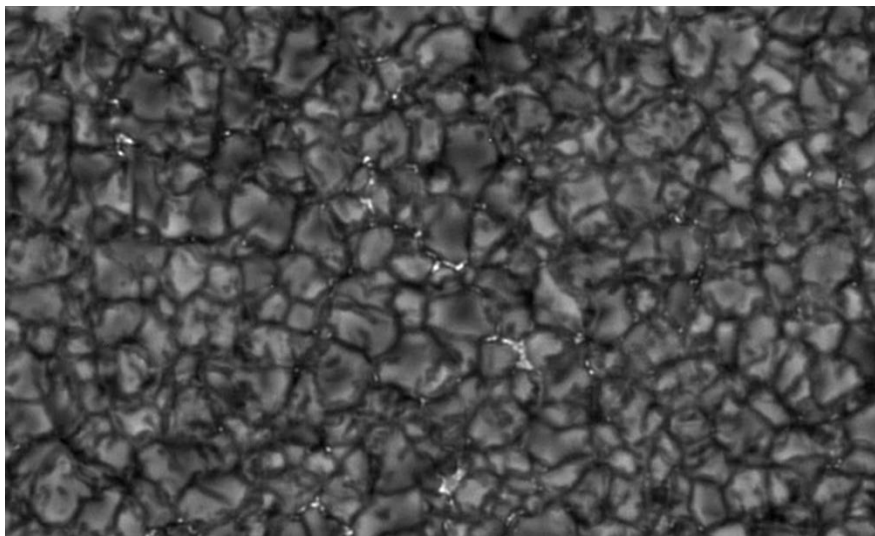


図1. 静穏領域の高解像度画像。2006.11.22 「ひので」可視光望遠鏡430nm (G-band)

図2に、ひので衛星が太陽の中央付近で観測した静穏領域のFeI 656.2nm吸収線の円偏光(中央)と直線偏光(右)シグナルの分布を示す。太陽面を真上からみているため、円偏光は太陽面に垂直な磁場成分、直線偏光は太陽面に沿った水平な磁場成分と考えて良い。これから分かるように、静穏領域といえども太陽面には至る所に磁場が離散的な形態で存在している。太陽面に垂直な磁場はkG強度の磁束管として、とくに超粒状斑又は中間粒状斑の境界に集中しており、ネットワーク状に分布している。水平磁場は数百Gと見積もられ、個々の粒状斑に付随して粒状斑と同等のタイムスケールで

絶えず発現・消滅を繰り返している。いずれもプラズマの対流運動によってダイナミックに変動しており、磁場を介したエネルギーの供給は上空高温大気の形成に重要な役割を果たしている可能性が指摘されている (Ishikawa and Tsuneta 2009)。

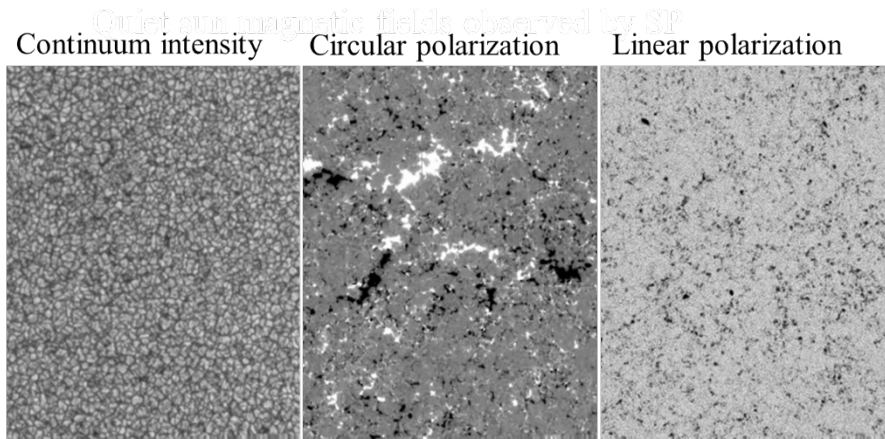


図2. 太陽中心の静穏領域。連続光強度、円偏光、直線偏光。ひのでSP (The Sun as a Guide to Stellar Physics, 2019)

強い磁場がより大きなスケールで集中したところは、下からのエネルギー供給源である対流運動が抑制されるため、表面温度が下がって黒点が形成される。黒点の典型的な磁場の強度は 2000-4000G であるが、6250G に達する強度が報告されている (Okamoto and Sakurai 2018)。図3にひので衛星が観測した活動領域における光球磁場の分布を示す。黒点中央の暗い部分(暗部)には、粒状斑のような対流は見られないが、多数の暗部輝点として弱い磁気対流現象が認められ、黒点内部の温度 3000-5000K を維持している。暗部を取り巻く半暗部は放射状に伸びた多数の筋構造から形成され、光球ではほぼ水平な磁場をもつ筋に沿って秒速数 km を超える激しい外向きの流れがある (Evershed 1909)。半暗部の内側から上昇した熱いガスが流出し冷えた後に半暗部外縁で沈み込む現象であり、これも強い磁場の影響下における熱対流現象であると理解されている (Ichimoto et al. 2007)。

図3に見られる上下の黒点は、磁場の仰角から分かるように極性が異なっており、それぞれ S 極と N 極となっている。右下のマップには2つの黒点を繋ぐ水平磁場の方向を示しているが、N 極と S 極を素直に繋ぐ形状とは大きく異なり、磁気中性線にほぼ沿った、強くシアした構造を示している。これは磁場構造が電流のないポテンシャル磁場 ($\text{rot}B=0$) から大きく外れていることを示しており、強い電流系によって磁場が大きな自由エネルギーを持っていることを物語っている。フレア爆発の起源となるものであり、光球のベクトル磁場の解析は宇宙天気研究にとって重要な意味を持つことになる。

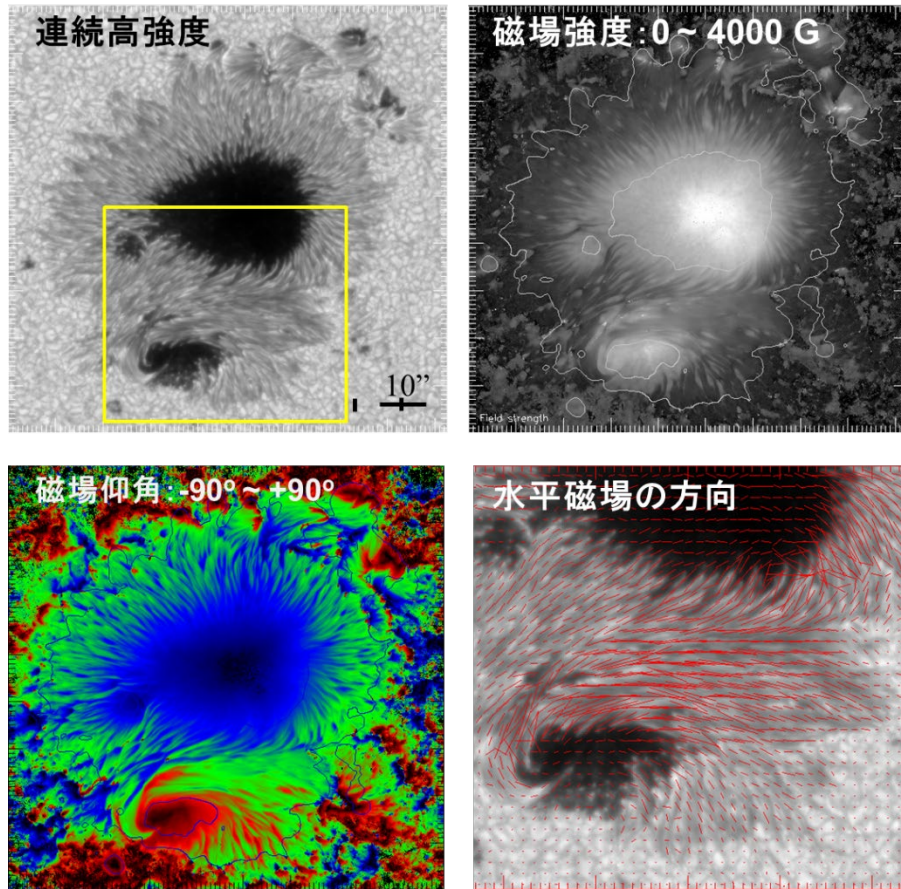


図3. 黒点の磁場構造。ひのでSP。

光球では、黒点内のとくに磁場が強い場所を除いてガスの圧力が磁場の圧力に対して優勢であり、対流が持つガスの運動がコロナを貫く磁場を歪めることにより、エネルギーが渡される。周期5分にそのパワーのピークを持つ光球の振動も、一部高周波成分は波動となって上空へエネルギーを伝達すると考えられる。