

Chronoastrobiology の視点から見た高所住民の健康： CME (coronal mass ejection) とラダークの洪水

中岡隆志¹⁾、川崎孝広¹⁾、Tsering Norboo²⁾、
松林公蔵³⁾、大塚邦明¹⁾、奥宮清人⁴⁾

- 1) 東京女子医科大学 東医療センター内科
- 2) Ladakh Institute of Prevention, Ladakh
- 3) 京都大学 東南アジア研究所
- 4) 総合地球環境学研究所

1. 背景

人は地球の上で生活し、植物や動物、あるいは無生物とともに生態系を形づくっている。人を含む生物圏は、無生物圏と多様に、すなわち、非線形に相互作用しつつ、地球圏を構成している。人は多様な地球環境の中で、地域に見合った生活習慣を身につけてきた。人を取りまく環境に順応し、習熟し、適応してきた。

太陽は地球のエネルギー源である。地球上の様々な事象は、そのエネルギーが多様に形を変えて表出した結果である。それゆえ、地球上に発生する様々な現象の原因を探るには、太陽とジオスペース（太陽と地球の間の空間）と地球という関係に焦点を当て、その因果関係を論じることが必要になる。たとえばこの論文で考察する、高所住民の健康とラダークの洪水についても、太陽を中心とする1つのシステムの中の現象として扱い、相互連関の有様を考察していくことが肝要である。太陽地球科学の分野では、このような学問指向を、宇宙天気とその予報という形で体系化してきた。

筆者等は、地球圏としての事象のなかでも、健康と疾病に焦点をあてて調査し解析してきた。とりわけ時間の概念に重点をおいて、太陽－ジオスペース－地球というシステムをみつめてきた。それを chronoastrobiology（時間宇宙生物学）と称している¹⁻⁹⁾。太陽は、健康を維持するための生体のふるまいから、疾病の発症とその増悪に至るまで、地球圏の一員として人に明瞭な影響を及ぼしていた。一方、太陽地球科学においても、時間の

視点からみた研究の流れがある。宇宙気候学である。太陽と地球の間には、分単位から世紀単位まで、様々な時間単位で変動する現象がある。宇宙気候の中から宇宙天気を見るという姿勢が求められている。

太陽から地球まで、そのシステムの中で発生するさまざまな現象が、相互にどのようにクロストークしているのか。Chronoastrobiology を探求していくには、相互の因果関係を探るためのアプローチが必要である。総合的に評価することができ、そして定量的に表現することが可能な指標が求められる。筆者らは、chronomics（クロノミクス）を提唱し、“remove and replace” という手法を用いてきた^{10,11)}。

自然科学の王道として、ふるくは事実の列挙にその本質を求める博物学的手法が用いられてきた。今でもこの手法を用いる学問分野もあるが、太陽から地球までというシステムに潜む法則を抽出するには、この手法には限界がある。余りにも多くの現象を調査しなければならないことも、その1つであるが、たとえその全てを調査し得たとしても、それを標本として眺めるだけでは、そこに潜在する真理は見えてこない。現象が非線形に作用し合っているからである。それゆえ時空とともに変動する現象を、スポットで抽出し、それをその代表値とするという手法には妥当性がない。博物学的推論には、その他にも重大な欠点がある。「A ならば B である」「B が C を導く」……と線形近似の手法で推論を展開していくと、「風が吹けば桶屋が儲かる」というとんでもない結果が導

かれてしまう。

近年、博物学的アプローチに変わるものとして、数理学的アプローチが推奨されている。多様な情報に潜む法則性を追求する手法である。太陽・地球・人というシステムにおいては、一見複雑に見える現象も、比較的単純な方程式で表記される場合が多い。あるいは、博物学的アプローチでは全く別のものにみえた現象が、実は同じものであることが解明できることも少なくない。なかでも、非線形性アプローチは、予測できない事象の探求（predicting predictability）に優れている。人の健康や疾病をあつかう分野では、予期せぬ疾病の発症の予測にこの手法が好んで用いられてきた。

フラクタル解析がその1つである。結果として表出されたある1つの指標のふるまいから、ブラックボックスを介してその背後に存在する根源を導出することができる。例えば、心拍変動のフラクタル性の乱れがみられると、その背後に心血管系を統括する生命システムが破綻していること（すなわち、突然死をおこしやすい状態に陥っていること）が推察される。筆者等は、米国カリフォルニアに2189年間棲息した巨樹の、年輪幅の時系列データをフラクタル解析した。そのフラクタル性の乱れの背景に、小氷河期を含む気候変動があること、文化・文明の盛衰が表出されていることを報告している¹²⁾。

2. 目的

太陽-ジオスペース-地球というシステムとしての視点から、まずヒマラヤ地域に住む高所住民の健康に、太陽活動がどのような影響を及ぼしているかを、“globalization in space and time”の手法^{10,11,13)}を用いて評価する。次いで、予期せぬ洪水災害の発生が、気象データのフラクタル解析から予測可能であったか否かの評価を試みる。2001年から開始したラダーク地域住民のHealth Watch検診の中、高所砂漠地帯であるはずのこの地に、2010年8月、偶然、洪水災害が発生した。ラダークは、8月4日の夜から大雨となり、7日の夜まで雷雨を伴う集中豪雨に見舞われ、地域一帯は洪水となった。この予期せぬ災害の発生が、数理学的アプローチで予測可能であったか、そしてその背景に、太陽活動がどのように連関していたかを、被災地（ラダーク）で記録された2年間の気象データのフラ

クタル解析から考察する。

3. 対象と方法

(1) 対象とした地域

ラダーク（Ladakh）地域はチベット高原に隣接する標高2500 mから4600 mの高地に位置し、高所であるため、大気圧が低く、低酸素である（hypobaric hypoxia）。SpO₂は75%～90%と著しい慢性の低酸素血症を呈している。一方、血色素量（Hb）は16g/dl前後で高Hb血症の程度はさほど強くない。上水・下水の設備が不十分で衛生状態がよくない。十分な医療の恩恵を受けていない。伝統医療に基づいた独自の生薬による治療が行われていること等の特徴がある。雨量が少なく、いわば高所の砂漠地帯である¹⁴⁻¹⁸⁾。

(2) フィールド医学調査としての Health Watch 検診

生活習慣・睡眠習慣をアンケート調査し、それとともに、総合的機能評価として以下の項目について調査した。(1) ADL機能として、Up & Go 試験、Functional Reach 試験、ボタン試験（指先の器用さ）を。(2) 呼吸機能として SpO₂と呼吸数を。(3) 認知機能として Kohs 立方体試験と、10秒あるいは60秒の時間予測（Time Estimation）を。心臓血管系機能の評価のために、(4) 12誘導普通心電図、(5) 体位変換に伴う血圧値の測定とその動揺性、(6) 血管の硬さ（CAVI、ABI）を計測した。

(3) 対象とした高所在住地域住民

2001年8月に最初の訪問をおこない、ラダーク住民の生活習慣（就寝・起床、住居、食生活、家族構成など）とともに血圧・脈拍とSpO₂のみの簡易調査を実施¹⁸⁾。続いて2004年8月から、2008年7月までの間にラダーク（Ladakh）地域の中心都市レー（Leh）と辺境の200余の集落（標高2200 mから4590 m）を訪問し、地域住民3418名（13-92歳、平均51.4歳、男1428名、女1990名）を対象に、フィールド医学調査を実施した。7回の調査対象住民数は以下の通りである。2004年；549名（13-82歳、平均51.1歳）、2005年；461名（19-89歳、平均54.9歳）、2007年；447名（20-86歳、平均47.8歳）、2008年；164名（18-92歳、

平均 55.74 歳)、2009 年:788 名 (19-92 歳、平均 53.1 歳)、2010 年 6~7 月:420 名 (19-85 歳、平均 55.9)。2010 年 8 月、ラダークは集中豪雨と洪水に見舞われるが、洪水被害後の 8~9 月にも、589 名 (22-91 歳、平均 55.7 歳)を対象に検診を実施することができた。年次調査の対象住民は、それぞれ異なっており追跡調査ではない。

(4) 太陽活動の評価

太陽活動の経時的变化の指標として、2000 年 1 月から 2010 年 12 月までの太陽黒点数 (sunspot number) を評価した。国立天文台太陽観測所 (Solar Observatory、NAOJ、三鷹) で観測された太陽黒点数 (sunspot number) を用い、毎日計数される黒点数の 1 ヶ月毎の平均値を用いて、その長期変動を評価した。あわせて太陽黒点蝶形図の推移を参照した。太陽活動の短期変動として、NASA が観測したコロナ質量放出 (coronal mass ejections、CME) に注目し、CME と地球圏との関わりを評価した。

(5) ラダーク地域の気象観測

2009 年 6 月、ドムカル上村 (標高 3808 m) に気象観測センサーを設置し、連続的に気象計測を開始した。気温、湿度、風向、風速、降水量の基本 6 要素を測定するために一体型センサー (Vaisala 複合センサー CVS-WXT520) を、短波・長波放射 4 成分を計測するための測定機器 Hsksefulx CHF-NR01 を設置した。短波放射の下向成分で太陽放射 (日射) を計測し、上向き成分で降雪の有無を評価し、長波放射により地面温度の算出を試みた。高所であるため紫外線が強い。そこであわせて紫外線量も計測することとした。いずれも 10 分毎の測定値を記録データとして保存した。(詳細は、既報¹⁹⁾を参照)

(6) 太陽-ジオスペース-地球連関を解析するための数理学的手法

太陽-地球連関の解析には、glocalization 解析法^{10,11,13)}を用いた。すなわち、太陽圏における現象をみつめる global な視点と、地球圏における現象を解析する local な視点からその連関を解析した。この解析には、remove & replace アプローチとクロノミクスを必要とする。気象データのクロ

ノミクス解析として、線形・非線形リズム解析と MEM スペクトルを用いた。MEM スペクトルと 1/f ゆらぎの解析には、GMS 社の MemCalc ソフト (verison2.0) を用いた¹²⁾。

フィールド医学調査の年度に伴う測定値の変化は、一元配置分散分析で解析し、2 群間の比較には、Student t-test (データの分散が 2 群間で異なる場合には、Mann-Whitney test) を用いた。いずれも $p < 0.05$ をもって統計上有意とした。時間医学の用語は、既報²⁰⁾を参照いただきたい。

4. 結果

(1) 太陽活動の周期性変化とフィールド医学調査

2004 年から、2010 年までの間に実施した Health Watch 検診のデータを基に、高所に住む地域住民の健康に太陽活動がどのように影響しているかを検討した。ラダークを最初に訪問した 2001 年は、太陽活動 (solar activity) は極大期 (sunspot maximum) を迎えていた。以降、太陽活動の黒点周期 (sunspot cycle) は 6~7 年をかけて低下し、2010 年に極小期 (solar minimum) を迎えた。2001 年から 2010 年までの 8 回のフィールド医学調査は、この太陽周期 (第 23) の極大から極小の時期を調査したことになる (図 1)。

この 8 回の訪問のうち、150 名以上の住民の検診を行ない得た 7 回の健診での収縮期血圧の推移と、そのときの宇宙気候を表す太陽活動としてウォルフ太陽黒点相対数の推移を比較した。収縮期血圧 (平均値と標準偏差) の推移は次の通りである。2004 年 (135.1 ± 22.1 mmHg、 $n=546$)、2005 年 (130.6 ± 25.2 mmHg、 $n=433$)、2007 年 (129.4 ± 20.1 mmHg、 $n=444$)、2008 年 (128.8 ± 21.2 mmHg、 $n=164$)、2009 年 (128.0 ± 22.3 mmHg、 $n=786$)、2010 年 (130.0 ± 23.6 mmHg、 $n=418$)。この推移に最適あてはめ曲線をあてはめると、図 2 の通りであり、2008 年に最低値を示す 2 次曲線が得られた (図 2 下段)。この曲線は、太陽黒点数の推移へのあてはめときわめて近似していた (図 2 上段)。あたかも、宇宙気候に影響されつつ血圧も推移しているようにみえる。

(2) ラダーク地域の気象変化とその特徴

2009 年 6 月から 2 年間、ドムカル上村 (標高 3808 m) で、気温、湿度、風速、風向、気圧、紫

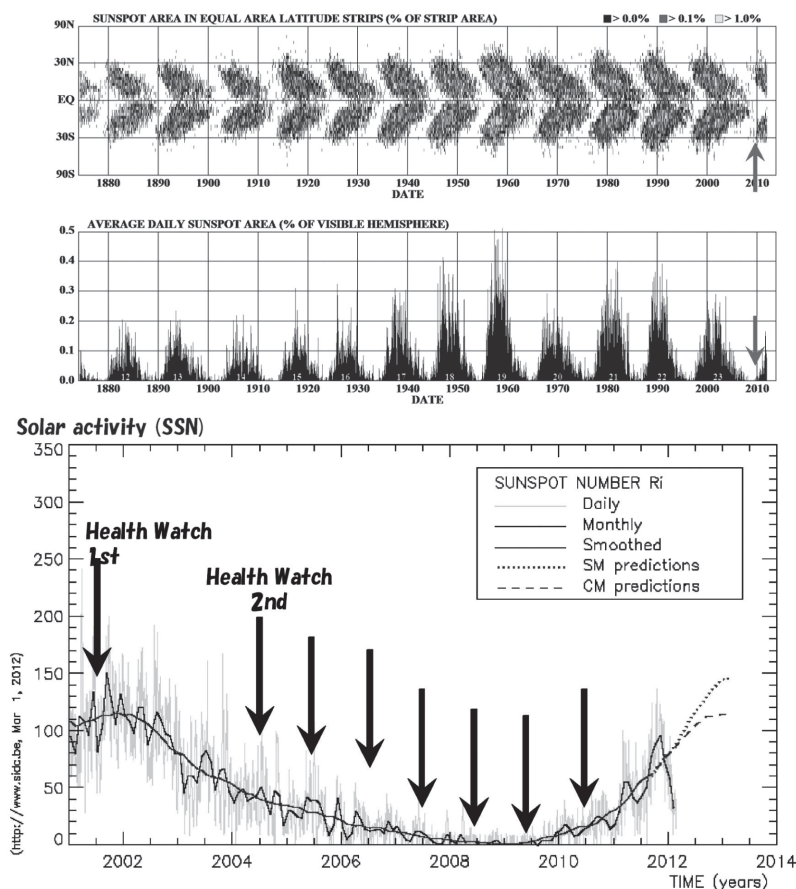


図1 太陽周期とフィールド医学調査を実施した時期との関係

図上段：極大と極小をくりかえす太陽活動の歴史。太陽黒点蝶形図と太陽黒点数 (sunspot number) の推移。↑と↓は、後述するラダックの洪水が発生した時期を示す。図下段：2001年から2010年まで、8回のフィールド医学調査を↓で示す。この期間は、第23太陽周期（2007年12月まで）と2008年1月からの第24周期に一致している。（<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml> より引用改変）

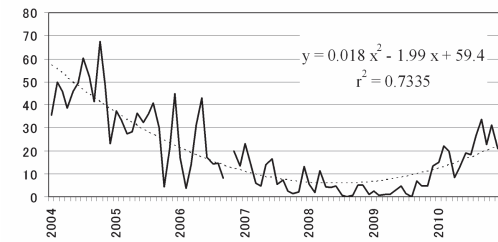
外線、短波・長波放射4成分（短波放射の下向成分で太陽放射（日射）を計測し、上向き成分で降雪の有無を評価し、長波放射により地面温度の算出）、降水量を10分毎に記録した。短波放射の下向成分（日射）、外気温、相対湿度、気圧の記録を図3に示す。

気象データの特徴は次の通りであった（図3、表1参照）。リズム解析には線形・非線形リズム解析を用いた。気温の変化にはサーカディアンリズムがあるが、それよりもいっそう明瞭なサーカニユアルリズムが見られた（図3左下）。1年の

気温変化は極めて大きく、冬には -15°C まで低くなるが、夏には 25°C にまで達する。冬と夏で 40°C もの較差があり、毎年7月下旬から8月中旬の時期が最も高温であった。図3左下は、2010年8月、気温が年間で最大となった時期が先行し、やや遅れて洪水被害が発生していることを示している。相対湿度の1日の変動は20%～90%と大きい（図3右上）。1月から3月の冬季は、比較的に多湿であり、明瞭なサーカディアンリズムと明瞭なサーカニユアルリズムがみられた。風速にはサーカディアンリズムとともに明瞭なサーカ

ニュアルリズムがあり、3月から7月の風速が大であった。風向は、3月から7月に西風(W-E)が強くなり、西風にはサーカディアンリズムとともに、より明瞭なサーカニアルリズムがみられた。一方、南風(S-N)にはサーカディアンリズムがみられるものの、明瞭なサーカニアルリズムはみられなかった。気圧は、635～650 hPaと低く、サーカディアンリズムとともに、明瞭なサーカニアルリズムがみられた(図3右下)。紫外線量にも、明瞭なサーカディアンリズムがみられ、その振幅は極めて大であった。サーカニアルリズムも明瞭で、その1年の変化量も大きく、毎年、4月下旬から7月中旬の紫外線が強かった。短波放射の下向成分(図3左上)は、太陽放射(日射)に相当する測定値であり、明瞭なサーカディアンリズムとサーカニアルリズムがみられた。1年の変化が極めて大きく、毎年4月下旬から7月中旬の太陽放射が最も強かった。図3左上は、2010

太陽黒点相対数



(mmHg)

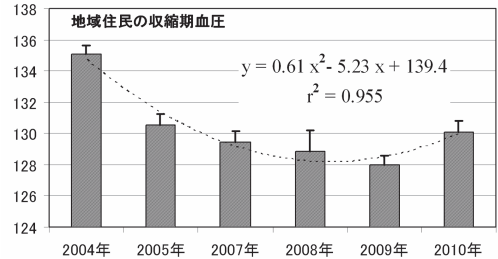
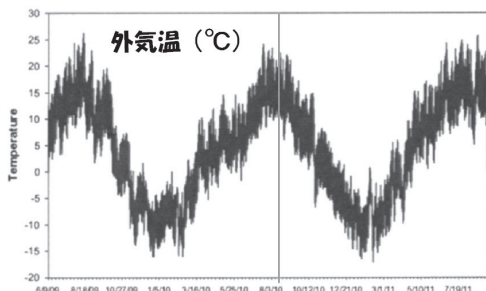
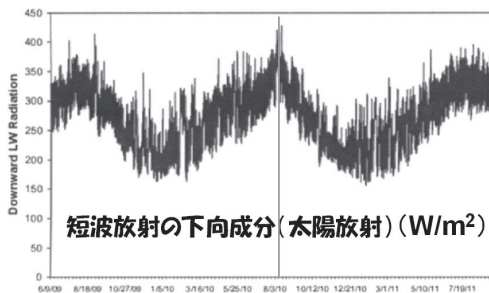
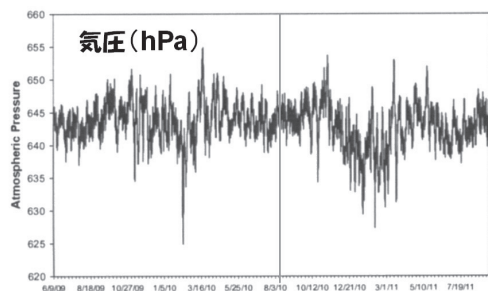
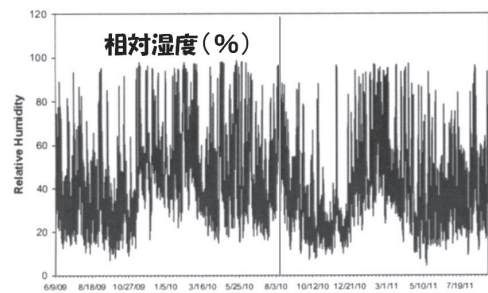


図2 太陽活動と相似して推移する地域住民の血圧

図上：2004年から2010年までの太陽黒点数の推移。図下：フィールド医学調査で観察した地域住民の収縮期血圧平均値の推移。血圧値の推移が太陽活動の推移と極めて近似している。



時刻(年月日)



時刻(年月日)

図3 ラダーク地域の気象。10分毎の記録の2年間の推移

2009年6月9日から2011年9月11日までの記録。ラダーク洪水被害の発生時を赤線で示す。図左上：短波放射の下向き成分(太陽放射あるいは日射)が、2010年8月、年間で最大値に達したときにラダーク洪水被害が発生。2009年、2011年に比し、2010年8月の日射観測値は、一過性に著しく増大していることに注目。洪水が発生したとき(中央の線の位置)に一致している。図左下：気温が年間で最大となった時期が先行し、やや遅れて洪水被害が発生している。図右は、相対湿度と気圧の2年間の記録。その他の気象データの詳細は本文参照。

表1 2009年6月9日から2011年9月11日までの2年間のラダーク気象データ
824日分の各時系列データを一括して1/f ゆらぎ解析したときの勾配 (β) を表示。

Ladakh; Domkar Gomma (標高 3808 m, 緯度 34° 26'N; 経度 76° 49'E)	外気温 (°C)	相対湿度 (%)	風速 (m/sec)	風向き (東風) (degree)	風向き (南風) (degree)	気圧 (hPa)	紫外線量 (W/m2)	短波放射 の下向成 分量 (W/m2)	降雨量 (mm)
1/f ゆらぎの勾配 (β)	-1.3881	-1.109	-0.600	-0.471	-0.426	-1.9931	-0.242	-1.0996	-0.4545
平均(単位)	4.24	42.45	1.688	-0.062	-0.336	643.21	10.7562	273.08	0.0034
標準偏差	9.05	11.29	0.336	0.445	0.829	2.212	14.14	44.3	0.00487
最小値	-17.1	4.4	0.0	-5.6	-4.8	624.92	0.0001	155.36	0.001
最大値	26.2	98.2	8.0	4.4	5.0	654.77	63.4207	427.4	3.0233
概日リズムの周期(日)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.990
概日リズムの振幅(単位)	3.37	8.41	0.23	0.17	1.04	0.599	17.37	19.08	0.001902
概日リズムの位相(時:分)	14:57	2:39	15:30	22:48	14:56	6:30	12:16	14:09	11:53
インフラディアンリズムの周期(日)	382.61	204.97	365.54	371.50	385.00	179.37	372	339.09	28.37
インフラディアンリズムの振幅(単位)	11.67	8.44	0.28	0.45	0.20	1.909	4.09	27.84	0.002847
インフラディアンリズムの位相(時:分)	0:11	5:07	16:55	11:59	0:12	19:28	11:20	16:54	14:01

記録(2009/6/9/12:30~2011/9/11/12:30)

年8月、太陽放射が年間で最大値に達したとき、そして例年になく一過性にさらに太陽放射が上昇した後、ラダーク洪水被害が発生していることを示している。図には示していないが、短波放射の上向成分は、降雪の有無を評価するための測定である。1月から3月に最も大きな計測値が得られ、明瞭なサーカディアンリズムとサーカニアルリズムがみられた。長波放射の下向成分と長波放射の上向成分も観測した。地面温度を算出するための指標である。いずれにも明瞭なサーカディアンリズムと明瞭なサーカニアルリズムがみられた。なかでも長波放射上向成分のサーカディアンリズムは明瞭で、その振幅は大きかった。一方、降雨量は極めて少なく、降雨頻度には、何のリズム性もみいだせなかった。

(3) ラダーク気象データのゆらぎ特性

2年間の気象データの平均値と標準偏差、最大値と最小値、概日（サーカディアン）リズムとインフラディアンリズムの特徴、そして各々のゆらぎ特性を表1に示す。線形解析の結果は、前項の説明を参照いただきたい。1/f ゆらぎ解析の結果は、以下の通りである。相対湿度と短波放射の下向成分（日射量）に1/f ゆらぎが観測されたが、気圧の変化は1/f² ゆらぎを呈していた。外気温の変化は、1/f ~ 1/f² ゆらぎの間を、風速は1/f ~ 白色ゆらぎの間を変動すること、一方、風向、紫外線、降雨量には1/f ゆらぎ成分は少なく、白色ゆらぎが主体であった。

(4) ラダーク地域の洪水と気象観測データのゆらぎ特性の変化

本来、ラダークは降雨量が極めて少ない砂漠地帯であるが、8月4日の夜、大雨となり、8月5日から7日の夜まで、その地域一帯は雷雨を伴う集中豪雨に見舞われ、穏やかだったラダークの集落は洪水被害で一変し、土砂の山に豹変してしまった（図4）。

ラダークの気温には、著しく大きい1年のリズム性が見られる（図3左下）。今回の洪水は、年間の気温が最も高くなったときにはほぼ一致していた。すなわち、気温のサーカニアルリズムの頂点位相に数日遅れて洪水が発生。そこで気温の変化にみられるゆらぎ特性を解析した。気温のゆらぎ特性は、1/f ゆらぎと1/f² ゆらぎの間を、時々刻々変化することを特徴としていた（表1参照）。2010年8月、ラダークが洪水に襲われた直前に、気温ゆらぎ特性は完全に消失し、明瞭な白色ゆらぎを呈していた（図5、赤の矢印）。2009年8月と2011年8月の夏は、同じ気温環境であるが、1/f ゆらぎの消失はみとめられていない。

くわえて2010年の夏には、気圧のゆらぎ特性に大きな変化が現れていた。気圧のゆらぎ特性は、1/f² ゆらぎが主体であり、1/f² ゆらぎと1/f ゆらぎとの間を、時々刻々変化することを特徴とする（図5、表1参照）。洪水が発生する約2ヶ月前に、気圧にみられる1/f² ゆらぎは消失し、白色ゆらぎを呈していた（図5、黒の折れ線グラフと水色の矢印）。気温のゆらぎが消失する1~2カ月前に相当する。外気温の変動を調節する太陽-地球シス



図4 2010年8月にラダークを襲撃した洪水被害

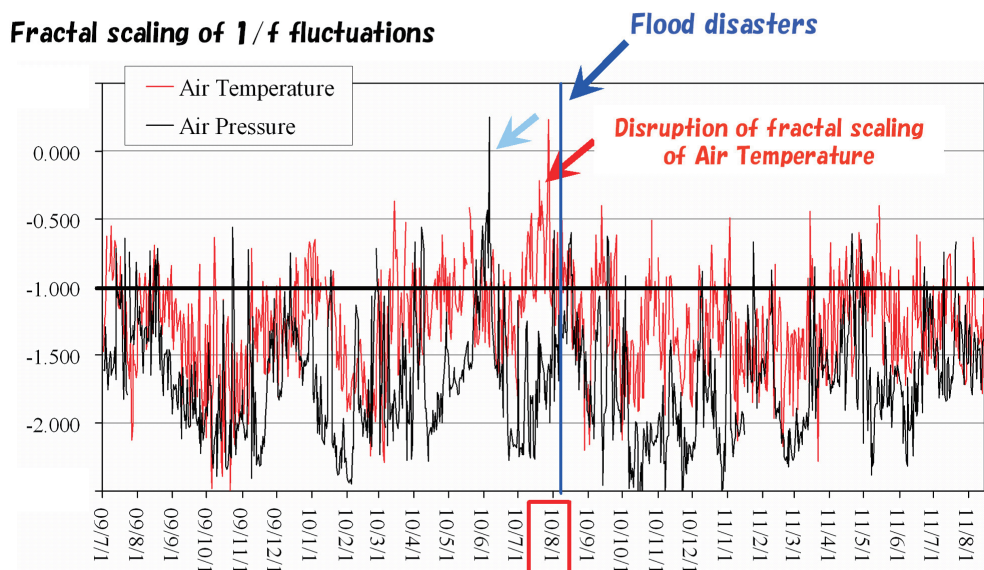


図5 気温と気圧のゆらぎ解析とその時系列表示

気温と気圧の2年間（2009年6月9日から2011年9月11日まで）の記録から各々の $1/f$ ゆらぎを解析。90日分のデータを7日ずらしでスペクトル解析し、 $1/f$ ゆらぎの勾配（ β ）を時系列表示。気温変化のゆらぎ解析を赤で、気圧のそれを黒で表示している。気温のゆらぎ特性 β は、 -1.00 を中心に、 -0.50 から -2.00 の間を、時々刻々変化している。ラダークが洪水（青線の時点。青の矢印で示す）に襲われた直前、この気温のゆらぎ特性が消失し、白色ゆらぎ（すなわち、 β が 0.00 ）を呈している（赤の矢印）。この図に併記している気圧のゆらぎ特性の変化に注目いただきたい。気温のゆらぎが消失する約1～2カ月前に、気圧のゆらぎ特性が消失している（水色の矢印）。

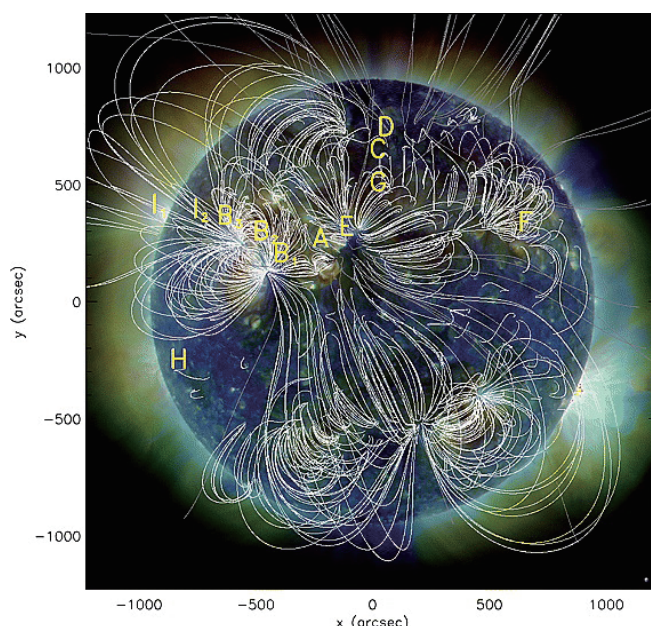


図6 2010年8月1日の太陽爆発 (PFSS法にて一連の爆発を表示)

2010年8月1日午前8時55分、突如、太陽表面の北西部に位置する大きな太陽フィラメントが爆発し、ほぼ同時に太陽黒点1092の部位にC3級のフレアが発生。さらに近傍の黒点群からコロナが爆発。それから約28時間の間、太陽表面の半球に次々と太陽爆発が繰り返された。図中のA~Iは、図7の表示と一致。一連の爆発の流れは、図7を参照。これまでに観測されたことのないほどの大規模な複雑爆発であった。10億トンの燃えるガスが、宇宙に放出された。少なくとも5つのCME (coronal mass ejection、コロナ質量放出) が、地球の方向に向かって放出されたと報告されている。その高エネルギー粒子は、8月3日の夜から5日にかけて、35時間にもわたり激しく地球を直撃した (図8と本文参照)。(Schrijver CJ, Title AM. J. Geophys Res 116, A04108, 2011より引用)

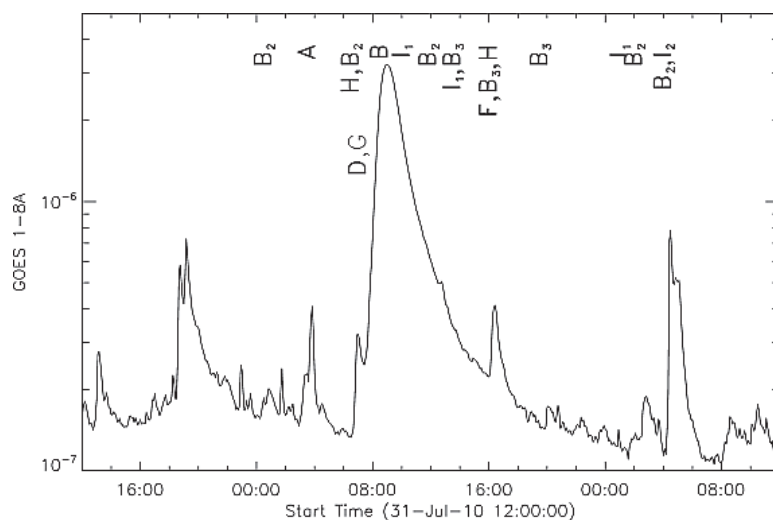


図7 宇宙衛星 GOES (Geostationary Operational Environment Satellite) で観測した太陽爆発の一連の記録 (図縦軸は、1~8Åの波長の記録)

2010年7月31日01時頃から8月2日12時までの時系列の中、B2からはじまり12までが太陽爆発の記録。27時間53分にも及び、観測されただけでも54回の爆発が次々と繰り返され、少なくとも5個以上のCMEが地球の方向に向かって放出された (図6と本文を参照)。(Schrijver CJ, Title AM. J. Geophys Res 116, A04108, 2011より引用)

テムの乱れに先行して、気圧を調節するシステムの擾乱が生じていたことを示している。

(5) 2010 年 8 月 1 日の太陽爆発

NASA's Solar Dynamic Observatory (SDO) は、2010 年 8 月 1 日午前 8 時 55 分、突如、太陽表面の北西部に位置する大きな太陽フィラメントが爆発し、ほぼ同時に太陽黒点 1092 の部位に C3 級のフレアが発生したことを観察した。この爆発が、数千キロマイルも離れた他の部位での爆発をよび起こした。Schrijver と Title²¹⁾ は、SDO と STEREO で観測した結果をつぶさに解析し、Potential Field Source Surface (PFSS) 近似法を用いて、その経過を詳細に描出した(図 6)。太陽表面半球は、ポップコーンのように次々と一連の爆発を繰り返し、太陽の半球全体、180 度の緯度まで広がっていった。太陽爆発は、27 時間 53 分にも及び、観測されただけでも 54 回もの爆発が次々と繰り返された(図 6、7)。これまでに観測されたことのない、全く予想もできないほどの大

規模な複雑爆発であった。10 億トンもの燃えるガスが、大量の紫外線とともに宇宙に放出された。Li ら²²⁾ は、STEREO A、STEREO B、SDO から観測したデータを 3 次元表示して、2010 年 8 月 1 日に起きたこの大規模な複雑爆発の太陽動態を評価した。その背景には、少なくとも 2 つの磁気系統が存在すると論じた。

Temmer 等²³⁾ は、この一連の太陽爆発で少なくとも 5 つの CME (coronal mass ejection、コロナ質量放出)が発生したこと、そしてそのすべてが地球を直撃する方向に向かって放出されたことを報告している。Cowen²⁴⁾ も、この太陽爆発について以下のようにコメントしている。起こり得ないほどに大きい太陽爆発が、どのような機序で生じたのかについて、Torok ら²⁵⁾ はその数理モデルを考案している。このモデルを用いれば、このような太陽表面の大爆発によって地球がどのような影響を受けるのか、あるいはその発生を予測することが可能であるのか等について、理解を深めることができるであろう。

Local GM in Tromsø, Norway Declination (degree)

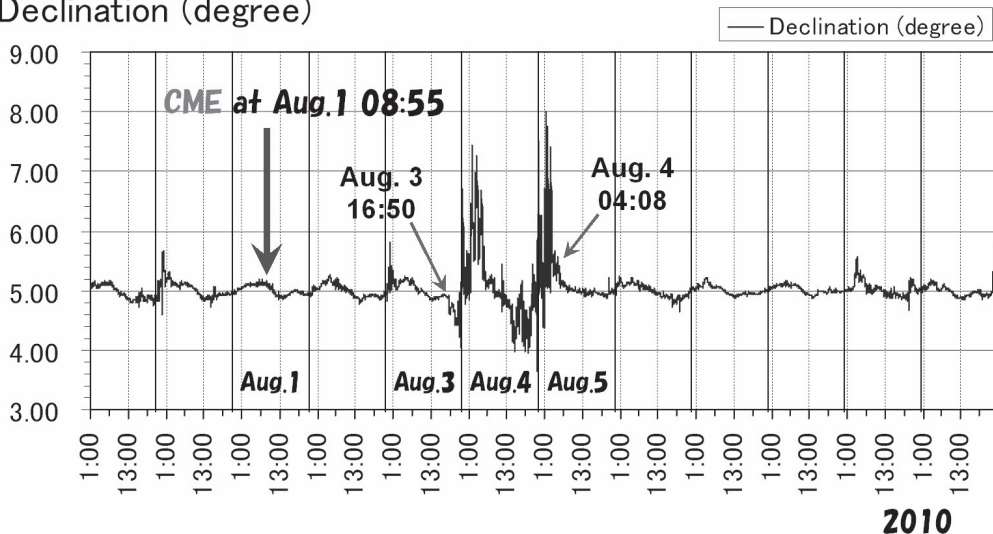


図 8 Norway の Tromsø 市にある Tromsø 天文台で観測した地磁気擾乱

2010 年 8 月 1 日 08:55 に発生した大規模な太陽表面爆発 CME の衝撃波は 8 月 3 日 16:50 に地球を直撃。図上段：CME の影響が地球に届いたときに観測されたオーロラ。北極天空に何度も美しいオーロラが舞った。図下段：CME の影響が地球に届いたときに観測された著しく大きい地磁気擾乱。8 月 3 日 16:50 から 8 月 5 日 04:08 まで、35 時間も継続する強大な地磁気擾乱が発生した。

(6) 2010 年 8 月 1 日の太陽爆発がもたらした地磁気擾乱

太陽から放出された巨大な CME は、惑星間空間に拡がり惑星間空間衝撃波となって、8 月 3 日の夕刻、地球を直撃した。亜北極圏の Tromso 市にある Tromso 天文台では、8 月 3 日 16:50 から 8 月 5 日 04:08 にかけて、35 時間も継続する強大な地磁気擾乱を観測した（図 8）。8 月 3 日夕刻から 8 月 4 日未明まで、地球の広範な地域で美しいオーロラが天空を舞った。地磁気擾乱の程度があまりにも大きかったため、通常よりも低い緯度の地域で、オーロラが観測された。カナダ、ケベック州のクリー族の村ワスカガニシュを流れるルパート川の上空にも、8 月 4 日、美しいオーロラが現れた。8 月 6 日にも、カナダのマニトバの湖の上に美しい緑のオーロラが現れた。日本の天文台も大きな地磁気擾乱を観測している。沖縄の観測所では、8 月 3 日の 18:00 から 8 月 5 日未明まで、大きな地磁気擾乱が継続して観測された。

(7) ラダークの洪水災害とラダーク住民の健康

数個の CME は互いに作用しあいつつ、8 月 3 日の夕刻地球を直撃し 8 月 5 日の朝まで、地磁気の乱れが続いた。本来、砂漠地域であるはずのラダークは、おもいがけず豪雨に見舞われた。8 月 4 日の夕刻大雨となり、雷雨を伴う集中豪雨が 8 月 7 日の夕刻まで続いた。地球環境学研究所奥宮研究班の池田菜穂班員の報告書によれば、「地球圏の雨の勢いは地面から跳ね返るほどで、雷の音は家を揺るがした。稲妻の光が暗闇を照らし、昼のように室内を明るくした。支流（谷壁）からの土石流は、4 時間におよび村落を襲撃した。」とある（総合地球環境学研究所報告会での報告より、未発表）。地域のテレビも次ぎのように放送している。橋も各地で多数壊れ、陸路も塞がってしまい、村落への緊急支援は、空路のみで運ばれ、孤立状態になった村へは空中散布で支給された（図 4）。

CME の発生と洪水被害の期間前後で、各々、420 人と 589 人のラダック地域住民を対象に、フィールド医学検診を実施することができた。予期せぬ自然災害は、住民の血圧を上昇させ（130.1/81.7 から 135.2/85.7 mmHg、 $p<0.001$ ）、脈拍数を増加。血管の硬さ CAVI を硬くしていた

（7.72 から 8.22 m/sec、 $p<0.0001$ ）。SpO₂ も上昇していた（86.3 から 91.9%、 $p<0.0001$ ）。本来、ここに住む住民はラダーク仏教に帰依し幸福感に満ちた生活を送っている。それでもさすがに洪水被害の衝撃は大きく、住民に抑うつ気分をもたらしていた。ものごとへの関心が薄れ（1.4% から 11.3%、 $p<0.000001$ ）、物悲しいと感じる住民が増えていた（5.3% から 8.8%、 $p<0.05$ ）。2010 年 6～7 月と 8～9 月に実施した Health Watch 検診の対象住民はそれぞれ異なっており、個人への健康被害が調査できたわけではない。

5. 考察

(1) 時間医学の視点からみた宇宙生物学；“Chronoastromedicine”

筆者等は、glocalization の手法を用いて、太陽活動とヒトとの連関を模索してきた。ヒトの生理学的指標は、太陽活動の指標と近似した変動を示すことが多いことを、数多く報告している。今回観察し得た、高所地域住民の血圧（集団としての平均値）（すなわち、local）の、2004 年から 2010 年までの推移も、太陽活動の指標 SSN の推移（すなわち、global）と近似していた。

生体にはサーカディアンリズムをはじめとして、様々な周期のリズムが存在する。この生体リズムは、太陽系に所属する地球として宇宙の周期性に適応した生命機構である。生体時計を同調させることのできる環境の周期変化は、同調因子 synchronizer と呼ばれる。最も強力な同調因子は光である。筆者らは、同調因子の 1 つとして地磁気周期に注目してきた。地球上の生物に、地磁気受容機構が存在するのか否か、これまで数多く検討されている。脊椎動物や鳥類では、すでに地磁気受容器の存在が報告されているが²⁶⁻³³⁾、ヒトではまだその存在は明らかにされていない。

地磁気と疾病との関連については、すでに数多くの研究報告がある³⁴⁻⁴²⁾。心筋梗塞や脳梗塞の発症に 7 日の周期性が見られるが、地磁気 Kp には 6.75 日の周期性が存在する。Halberg ら⁴³⁾ は、地磁気擾乱と心筋梗塞の発症とのクロススペクトルを解析し、数理的に有意のコヒーレンスが存在することを報告している。著者らもノルウェーの Alta 市に住む大学生を対象に、7 日間連続してホルター心電図を記録し、地磁気の変動と心拍変動

との関連を観察した。Alta は北極に近く、そのため地磁気擾乱の影響が最も直接的に観測できる。地磁気水平分力の 24 時間変動（標準偏差）が 35.64 nT から 252.0 nT に増加したとき（すなわち、地磁気擾乱があったとき）、心拍変動が抑制された（ $p < 0.005$ ）⁴⁴⁻⁴⁸。北極や南極に近い地域に住む人々は、サーカディアンリズムを保持し健康を維持する手段として、地磁気の恩恵を受けていることが推測される。

最近、ショウジョウバエの報告ではあるが、地磁気が生物リズムに影響すること、時計蛋白 CRY が青色光を吸収して磁気の影響を感知していることが報告されている⁴⁹。地磁気の変化が生体リズムに影響することになれば、太陽—ジオスペース—地球というシステムの中で、太陽活動と人の疾病との関連が科学的に探求できることになる。今後の時計機構と地磁気受容器に関する研究の進展が待たれる。

Halberg ら⁵⁰ は、1968 年から 1996 年の間にミネソタ州で発症した、致死的な心筋梗塞の発症頻度のリズム性を解析した。この 28 年間の疫学データから、心筋梗塞に罹患し死亡する頻度は、月曜に多く、12 月～2 月の冬に多く、太陽活動が盛んな黒点極大期に多いことをみだしている。今回の調査は、2004 年から 2010 年のラダック住民の血圧の推移に注目して解析した。高所地域住民の集団としての血圧値が、太陽活動の推移と近似して変化していた。血圧は黒点極大期に近い時期に高く（2004 年；135.1 mmHg、 $n=546$ ）、黒点極小期に最低であった（2009 年；128.0 mmHg、 $n=786$ ）。高所のラダックにおいても、太陽活動の周期が心血管系機能に影響を与えていることを推測させる。

(2) 気象データのゆらぎ特性の推移とラダークの洪水

2010 年 8 月初旬、本来はいわば高所砂漠地帯であるラダークに洪水が発生した。ドムカル上村（標高 3808 m）に設置した、気象観測測定機器に記録された洪水当時の気象状況を解析することにより、予期せぬ洪水の発生がそのフラクタル解析で予測可能であったか否かを評価した。太陽圏における現象をみつめる global な視点と、地球圏における事象を解析する local な視点から、その連

関を探るために、著者らはいろいろな手法を用いてきた。通常の方法論では、真実の姿をみいだすことはなかなか困難である。そのためクロノミクスという手法を提唱してきた。今回の検討では、クロノミクスの中で、1/f ゆらぎ解析を用いた。

博物学的アプローチにより以下のことが抽出された。ラダークに洪水が発生したとき、ラダークは 1 年のうちもっとも高温である時期を迎えていた（図 3 左下）。冬季には -15°C であった気温が、このとき 25°C に達していた。外気温には明瞭なサーカニユアルリズムがみられ、その振幅はきわめて大きい。短波放射の下向き成分（太陽放射、日射）の観測記録から、一過性に著しい日射量の増加があったことが観察された（図 3 左上）。そして、洪水が発生する直前に太陽活動（Ap）が著しく上昇していた（この論文には記載していない）。それは急峻で、35 時間余り持続していた。

気象の変化にみられるこの 2 つの所見は何を意味するのであろう？それを評価するために気温と気圧データの 1/f ゆらぎ解析を実施した。両者のいずれにも、ゆらぎ特性の破綻が確認された（図 5）。気温のゆらぎ特性は洪水発生の直前に、気圧のゆらぎ特性は洪水発生の約 2 ヶ月前に破綻していた。

気温のゆらぎ特性は、1/f ゆらぎを主体とし 1/f² ゆらぎが間入する。一方、気圧のゆらぎ特性は、1/f² ゆらぎを主体とし 1/f ゆらぎが間入する（表 1 参照）。すなわち、気温変動の調節系には、地域の気温を調節するシステムとしての機構（すなわち、1/f ゆらぎ）が存在しそれが主体であり、「A ならば B である」「B が C を導く」……という線形近似の調節機構（すなわち、1/f² ゆらぎ）も並存すること。一方、気圧変動の調節系は、線形近似の調節機構が主体であり、それに非線形の調節機構が間入していることを意味している。

洪水発生の直前に、太陽活動（Ap）が著しく上昇していたこと、日射量が一過性に著しく増加していたことから、このときの太陽活動に目を向けてみた。そこには 2010 年 8 月 1 日 08:55 に始まる一連の大規模爆発のエピソードがあった。それは約 28 時間も持続する、地球側の太陽半面の全体に広がる大規模な爆発であった（図 6、図 7）。5 個以上の CME が地球に向かって放出され、8 月 3 日 16:50 に亜北極圏 Tromsø でその影響が観測さ

れ、35時間も続く大きな地磁気擾乱が観測された（図8）。この太陽爆発に呼応するかのようラダークは、8月4日の夜から大雨となり、7日の夜まで雷雨を伴う集中豪雨に見舞われ、地域一帯は洪水となった。ラダークだけではなく、パキスタン、中国、モスクワにも大きな異常気象が観測されている。パキスタンでは8月5日、雨季と一致していたため大洪水となり1600人が死亡。中国の甘粛（Gansu）省舟曲（Zhouqu County）では8月8日、豪雨と土石流の被害があり、1200人以上が犠牲となった。モスクワでは、8月2日から9日、猛暑とスモッグに悩まされた。太陽-ジオスペース-地球システムにおける一連の事象であるかのように推察される。

（3）気圧データのゆらぎ特性の異常とラダークの洪水

パキスタンとモスクワの異常気象は、大規模な太陽爆発があった8月1日よりも前の、2010年7月頃から気象異常が発生していた。ラダークでも、気圧のゆらぎ特性の異常が2010年6月にみられている。洪水が発生した要因は、CME以外にもあった可能性がある。気圧は、主として線形近似の調節機構で調節されているため、気圧に相互に影響する気象異常が、洪水発生の素地をつくっていたことが推測される。

谷田貝らは、2010年夏季ユーラシア地域における異常気象を詳細に調査し、研究ノートを報告している⁵¹⁻⁵⁴⁾。7月はじめから8月中旬にかけて観測された、ユーラシア上空のジェット気流の循環異常が中緯度偏西風の蛇行をもたらししたこと。チベット高原から多量の水蒸気が運ばれ、熱力学的に不安定となりラダークの洪水発生に寄与したと論じている。

2年間の気象データの解析から、ラダーク洪水被害に寄与する要因を考察し、3つの事象を抽出した。1つは、ラダークは1年のうちもっとも高温である時期を迎えていたこと。太陽放射（日射）が、1年のうちでもっとも強い時期であったこと。洪水が発生した時期に、一過性に著しい日射量の増加があったことである。もう1つは、洪水が発生する直前に、気温のゆらぎ特性が消失していたことと、太陽活動（Ap）が著しく上昇し35時間余り持続していたことから、太陽活動との関連を

調査し評価したことである。その背景には、8月1日08:55に始まり約28時間も持続する、一連の大規模爆発のエピソードがあった。地球側の太陽半面の全体に広がる大規模な爆発であり、5個以上のCMEが直接、地球に向かって放出されたこと。8月3日16:50から35時間も続く大きな地磁気擾乱が観測された。2010年8月は、太陽活動が極小期に入っており、黒点0の日が1ヶ月も続いた。太陽活動が弱いと、地球磁場が弱くなり、宇宙線が入りやすくなることが知られている。8月1日の一連の太陽の大規模爆発が、地球の高層大気に強く影響を及ぼしたことが推測される。そして3つ目は、洪水の約2カ月前に現れた気圧データのゆらぎ特性の異常である。2010年夏季にみられた、ユーラシア地域における異常気象が、洪水被害の素地をつくっていた。

地球は、銀河系宇宙の中で、太陽系を構成している1つの惑星である。地球圏は、いうまでもなく、太陽から最も大きな影響を受けている。それゆえ気候変動が議論される今、太陽が地球環境に及ぼす影響に目を向け、それを正しく理解する姿勢が望まれる。

6. 結論

2001年のラダークへの訪問は、太陽活動の極大期（solar maximum）の時期であった。それからほぼ毎年、フィールド医学調査を重ね、2010年7月に、第8回目の調査を実施した。太陽活動は極小期（solar minimum）に入っていた。そのときラダークは、予期せぬ洪水被害に見舞われた。それに先行するかのよう、太陽表面で大型の太陽面爆発が発生し、爆発が太陽半球で次々と繰り替えされた。5個以上のCMEが発生し、特別に大きなCMEが地球に正面衝突する方向を向いて放出された。この夏は、それに先行してユーラシア上の亜熱帯ジェット気流の循環異常があり、いくつかの要因が重畳して、予期せぬ洪水災害がひきおこされた。

フィールド医学調査は、高所に住む人々を対象として実施された。高所では、低圧と低酸素の他に、温度、昼夜と冬夏の大温度差、強力な太陽放射と紫外線、風速と風向等、特殊な気候環境があり、様々な要因が複雑に交錯して、人と人を取りまく環境に影響を及ぼしている。この調査で

は、気象環境が住民にどのような影響を及ぼしているかを、宇宙の気候 (space climate) に焦点を当てつつ評価し、ヒマラヤ地域に住む高所住民の健康のあり方を考察した。健康を維持し、生命予後・疾病予後を改善するためには、医学的検査とともに、気象環境や生活習慣、ADL 機能や認知機能などを、総合的に評価し、地域に即した診断と治療を求めるという医療の取り組み (Glocal Comprehensive Assessment, GCA) が必要である。

4000 m の高所では宇宙の天気 (space weather) は、かなり直接的に気象環境や人に影響する。今回の調査では、気温のフラクタル解析が、space weather の評価に有用であり、太陽ージオスペースー地球というシステムをみつめる指標として、気象観測データの有用性が示唆された。

「宇宙の天気 (space weather) は、気象を調節する高所生態系のシステムに影響し、住民の健康にかかわっている？」とでもいう仮説をたて、高所地域住民の健康を維持すべく、今後、高所ワールド医学調査を展開していきたい。

(本稿は、平成 20 年度総合地球環境学研究所 プロジェクト 3-4PR 人の生老病死と高所環境ー3 大「高地文明」における医学生理・生態・文化的適応 (プロジェクトリーダー: 奥宮清人) として実施された。解析対象としたラダーク地域気象観測データは、本プロジェクトの一環として、谷田貝亜紀代博士により観測され記録されたものである。そのご厚意に深謝する。)

参考文献

- 1) Halberg F, Cornélissen G, Otsuka K, Zhao ZY, Delyukov A, Gorgo Y, Wang ZR, Rawson MJ, Holte J, Schwartzkopff O. Chronobiological approaches to integrative anthropology illustrated by heart rate variability (HRV) and geomagnetics. *Reports of Vinnitsa State University* 1998; 2: 254-255.
- 2) Halberg F, Cornélissen G, Schwartzkopff O, Syutkina EV, Grigoriev AE, Mitish MD, Yatsyk GV, Studenikin MY, Gubin D, Gubin G, Siegelova J, Fiser B, Dusek J, Homolka P, Watanabe Y, Otsuka K, Peretto F, Tarquini R, Delmore P. Spin-offs from blood pressure and heart rate studies for health care and space research. *In vivo* 1999; 13: 67-76.
- 3) Otsuka K, Yamanaka T, Cornélissen G, Breus T, Chibisov SM, Baevsky R, Siegelova J, Fiser B, Halberg F. Altered chronome of heart rate variability during span of high magnetic activity. *Scripta Medica* 2000; 73 (2): 111-116.
- 4) Otsuka K, Izumi R, Ishioka N, Ohshima H, Mukai C. Chronomics of heart rate variability on earth and in space. *Respiratory Physiology Neurobiology* 2009; 169s: 69s-72s.
- 5) Cornélissen G, Halberg F, Gheonjian L, Paataashvili T, Faraone P, Watanabe Y, Otsuka K, Sothorn RB, Breus T, Baevsky R, Engebretson M, Schroder W. Schwabe's ~10.5- and Hale's ~21-year cycles in human pathology and physiology. In: Schröder W, editor. Long and Short Term Variability in Sun's History and Global Change. Bremen: Science Edition, 2000: 79-83.
- 6) Halberg F, Cornélissen G, Sothorn RB, Watanabe Y, Faraone P, Otsuka K. Chronoastrobiology: mechanisms of infradian endogenous biospheric cycles on earth, near-matching physical environmental cycles. Abstract, 2nd Astrobiology Science Conference, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, April 7-11, 2002.
- 7) Halberg F, Cornélissen G, Katinas G, Appenzeller O, Otsuka K, Sothorn RB, Tarquini R, Peretto F, Maggioni C, Wilson D, Schröder W, Schwartzkopff O, Kessler T, Wang Z, Burioka N, Watanabe Y, Bakken E. System times and time horizons for biospheric near-matches of primarily non-photic environmental cycles. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2002; 56 (Suppl. 2): 266s-272s.
- 8) Halberg F, Cornélissen G, Sothorn RB, Hillman D, Katinas GS, Chibisov SM, Otsuka K, Frolov VA, Siegelova J, Greenway D, Gupta A, Revilla M, Masalov A, Syutkina EV, Malkova I, Nolley ES, Beaty LA, Agrawal RK, Dabhi RK, Schwartzkopff O, Bakken EE. Monitoring of factors of space weather and parameters of blood pressure. Proc. 8th International Congress "Health and education millennium", Moscow, Russia, November 14-17,

- 2007, p. 67-77.
- 9) Otsuka K, Cornelissen G, Norboo T, Takasugi E, Halberg: Chronomics and “glocal” (combined global and local) assessment of human life. *Progress Theoretical Physics* 2008; Suppl 173: 134-152.
- 10) Halberg F, Cornelissen G, Sothorn RB, Katinas G, Schwartzkopff O, Otsuka K: Cycles tipping the scale between death and survival (=life). *Progress Theoretical Physics* 2008; Suppl 173: 153-181.
- 11) Cornelissen G, Grambsch P, Sothorn RB, Katinas G, Otsuka K, Halberg F. Congruent biospheric and solar-terrestrial cycles. *J Appl Biomed* 2011; 9: 63-102.
- 12) Otsuka K, Cornelissen G, Halberg F. Chronomics of climate variations of tree ring width. *Atmospheric Oceanic Physics* 2010; 46: 61-66.
- 13) Halberg F, Cornélissen G, Otsuka K, Katinas GS, Schwartzkopff O, Halpin C, Mikulecky M, Revilla M, Siegelova J, Homolka P, Dusek J, Fiser B, Singh RB. Chronomics* (*the study of time structures, chronomes) detects altered vascular variabilities constituting risks greater than hypertension: with an illustrative case report. In: Mitro P, Pella D, Rybar R, Valocik G, editors. *Proceedings, 2nd Congress on Cardiovascular Diseases, Kosice, Slovakia, 25-27 April 2002*. Bologna: Monduzzi Editore; 2002. p. 223-258.
- 14) Otsuka K, Norboo T, Otsuka Y, Higuchi H, Hayajiri M, Narushima C, Sato Y, Tsugoshi T, Murakami S, Wada T, Ishine M, Okumiya K, Matsubayashi K, Yano S, Chogyal T, Angchuk D, Ichihara K, Cornélissen G, Halberg F. Chronoecological health watch of arterial stiffness and neuro-cardio-pulmonary function in elderly community at high altitude (3524 m), compared with Japanese town. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2005; 59 (Suppl 1): S58-S67.
- 15) 川崎孝広. ヒマラヤ地域における, 高所高齢住民の自律神経機能と高血圧. 自律神経 2009; 46: 98-106.
- 16) 川崎孝広, 奥宮清人, Tsering Norboo, 山本直宗, 石川元直, 松林公蔵, 大塚邦明. ヒマラヤ地域住民の生活習慣, 心血管系機能, 認知障害と高所への適応. ヒマラヤ学誌 2009; 10: 39-53.
- 17) 大塚邦明, Tsering Norboo, 川崎孝広, 石川元直, 松林公蔵, 奥宮清人. 高所地域 Ladakh 住民に観察された認知機能の低下と動脈硬化の亢進: 平地 (日本) 住民 (25,211 例) と高所地域住民 (1,376 例) の比較. ヒマラヤ学誌 2009; 10: 25-38.
- 18) Otsuka K, Norboo T, Otsuka Y, Higuchi H, Hayajiri M, Narushima C, Sato Y, Tsugoshi T, Murakami S, Wada T, Ishine M, Okumiya K, Matsubayashi K, Yano S, Chogyal T, Angchuk D, Ichihara K, Cornélissen G, Halberg F. Effect of aging on blood pressure in Leh, Ladakh, a high-altitude (3524 m) community, by comparison with a Japanese town. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2005; 59 (Suppl 1): S54-S57.
- 19) 谷田貝亜紀代. ラダーク気象観測—背景と初期データ—. ヒマラヤ学誌 2010; 11: 116-126.
- 20) 大塚邦明. 時間医学とヤヌス医学. メディカルレビュー, 1998 年, 東京, pp.21326.
- 21) Schrijver CJ, Title AM. Long-range magnetic couplings between solar flares and coronal mass ejections by SDO and STEREO. *J Geophys Res* 2011; 116, A04108.
- 22) Li T, Zhang J, Zhang Y, Yang S. Three-dimensional reconstruction of an erupting filament with solar dynamics observatory and STEREO observations. *Astrophysical J* 2011; 739: 43 doi:10.1088/0004-637X/739/1/43.
- 23) Temmer M, Vrsnak B, Rollett T et al. Characteristics of kinematics of a coronal mass ejection during the 2010 August 1 CME-CME interaction event. arXiv 2012; 1202.0629v1 [astro-ph.SR].
- 24) Cowen Ron. Linked solar eruptions explained. *Nature* 2011, 509. doi:10.1038/news.
- 25) Torok T, Panasenco O, Titov VS et al. A model for magnetically coupled sympathetic eruptions. arXiv 2011; 1108.2069v1 [astro-ph.SR].
- 26) Phillips JB, Borland SC: Behaviour evidence for use of a light-dependent magnetoreception mechanism by a vertebrate. *Nature* 1992; 359:142-144.

- 27) Wehner R: Hunt for the magnetoreceptor. *Nature* 1992; 359:105-106.
- 28) Deutschlander ME, Borland SC, Phillips JB: Extraocular magnetic compass in newts. *Nature* 1999; 400:324-325.
- 29) Deutschlander ME, Phillips JB, Borland SC: The case for light-dependent magnetic orientation in animals. *J Exp Biol* 1999; 202 (Pt8): 891-908.
- 30) Etheredge JA, Perez SM, Taylor OR, Jander R: Monarch butterflies (*Danaus plexippus* L.) use a magnetic compass for navigation. *Proc Natl Acad Sci USA* 1999; 96: 13845-13846.
- 31) Ritz T, Adem S, Schulten K: A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. *Biophys J* 2000; 78: 707-718.
- 32) Weaver JC, Vaughan TE, Astumian RD: Biological sensing of small field differences by magnetically sensitive chemical reactions. *Nature* 2000; 405: 707-709.
- 33) Wiltschko W, Wiltschko R, Munro U: Light-dependent magnetoreception in birds: does directional information change with light intensity? *Naturwissenschaften* 2000; 87: 36-40.
- 34) Kay RW: Geomagnetic storms: association with incidence of depression as measured by hospital admission. *British J Psychiatry* 1994; 164: 403-409.
- 35) Stoupe E, Wittenberg C, Zabudowski J et al.: Ambulatory blood pressure monitoring in patients with hypertension on days of high and low geomagnetic activity. *J Human Hypertension* 1995; 9: 293-294.
- 36) Breus TK, Cornelissen G, Halberg F et al.: Temporal associations of life with solar and geophysical activity. *Ann Geophysicae* 1995; 13: 1211-1222.
- 37) Borkiewicz A, Gadzicka E, Zmyslony M: Heart rate variability in workers exposed to medium-frequency electromagnetic fields. *J Autonomic Nervous System* 1996; 59: 91-97.
- 38) Satucci F, Bonfiglio L, Del Seppia C et al.: Changes in pain perception and pain-related somatosensory evoked potentials in humans produced by exposure to oscillating magnetic fields. *Brain Research* 1997; 769: 362-366.
- 39) Sastre A, Cook MR, Graham C: Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 98-106.
- 40) Ghione S, Mezzasalma L, Del Seppia C et al.: Do geomagnetic disturbances of solar origin affect arterial blood pressure? *J Human Hypertension* 1998; 12: 749-754.
- 41) Santucci PA, Haw J, Trohman RG et al.: Interference with an implantable defibrillator by an electronic antitheft-surveillance device. *New Engl J Medicine* 1998; 339: 1371-1374.
- 42) Gmitrov J, Ohkubo C: Geomagnetic field decreases cardiovascular variability. *Electro- and Magnetobiology* 1999; 18: 291-303.
- 43) Halberg F, Cornelissen G, Otsuka K et al.: Cross-spectrally coherent -10.5- and 21-year biological and physical cycles, magnetic storms and myocardial infarctions. *Neuroendocrinology Letters* 2000; 21: 233-258.
- 44) Otsuka K, Ichimaru Y, Cornelissen G, Weydahl A, Holmeslet B, Schwartzkopff O, Halberg F on behalf of the "ICEHRV" Working Group. Dynamic analysis of heart rate variability from 7-day Holter recordings associated with geomagnetic activity in subarctic area. *Computers in Cardiology* 2000; 27: 453-456.
- 45) Otsuka K, Cornelissen G, Weydahl A, Holmeslet B, Hansen TL, Shinagawa M, Kubo Y, Nishimura Y, Omori K, Yano S, Halberg F. Geomagnetic disturbance associated with decrease in heart rate variability in a subarctic area. *Biomed Pharmacother* 2001; 55 Suppl 1: 51s-56s.
- 46) Otsuka K, Oinuma S, Cornelissen G, Weydahl A, Ichimaru Y, Kobayashi M, Yano S, Holmeslet B, Hansen TL, Mitsutake G, Engebretson MJ, Schwartzkopff O, Halberg F. Alternating light-darkness-influenced human electrocardiographic magnetoreception in association with geomagnetic pulsations. *Biomed Pharmacother* 2001; 55 Suppl 1: 63s-75s.
- 47) Otsuka K, Murakami S, Oinuma S, Kubo Y, Shinagawa M, Weydahl A, Cornelissen G,

- Halberg F: Altered heart rate variability on geomagnetically disturbed day and the following two days in subarctic. In: Cardiovascular Diseases 2002, 2nd International Congress on Cardiovascular Diseases, Kosice, Slovakia, April 25-27, 2002, Mitro P, Pella D, Rybar R, Valocik G eds., Monduzzi Editore, Bologna, 2002, pp 271-284.
- 48) Oinuma S, Kubo Y, Otsuka K, Yamanaka T, Murakami S, Matsuoka O, Ohkawa S, Cornelissen G, Weydahl A, Holmeslet B, Hall C, Halberg F; ICEHRV Working Group. Graded response of heart rate variability, associated with an alteration of geomagnetic activity in a subarctic area. *Biomed Pharmacother* 2002; 56 Suppl 2: 284s-288s.
- 49) Yoshii T, Ahmad M, Helfrich-Forstel C. Cryptochrome mediates light-dependent magnetosensitivity of *Drosophila*'s circadian clock. *PLoS Biology* 2009; 7(4): e1000086. doi: 10.1371/journal.pbio.1000086
- 50) Halberg F, Cornélissen G, Otsuka K, Wang Z, Katinas GS, Siegelova J, Homolka P, Prikryl P, Chibisov SM, Holley DC, Wendt HW, Bingham C, Regal P, Sonkowsky RP, Sothorn RB, Pales E, Mikulecky M, Tarquini R, Perfetto F, Maggioni C, Jozsa R, Konradov AA, Kharlitskaya EV, Revilla M, Wan C, Herold M, Syutkina EV, Masalov AV, Faraone P, Singh RB, Singh RK, Kumar A, Singh R, Sundaram S, Sarabandi T, Pantaleoni G, Watanabe Y, Kumagai Y, Gubin D, Uezono K, Olah A, Borer K, Kanabrocki EA, Bathina S, Haus E, Hillman D, Schwartzkopff O, Bakken EE: Chronoastrobiology: proposal, nine conferences, heliogeomagnetics, transyears, near-weeks, near-decades, phylogenetic and ontogenetic memories. *Biomed Pharmacother* 2004, 58: 150s-187s.
- 51) 谷田貝亜紀代, 中村尚, 宮坂貴文. ラダーク 気象観測—通年データと2010年8月洪水時の状況. ヒマラヤ学誌 2011; 12: 60-72.
- 52) 谷田貝亜紀代. 2010年8月上旬のラダーク 鉄砲水災害時の降水・気象条件. ヒマラヤ学誌 2012; 13: 199-210.
- 53) 宮坂貴文, 中村 尚, 谷田貝亜紀代. 2010年夏季ユーラシア域の異常気象の連関と偏西風の異常蛇行. 気象研究ノート 2012; 225 (2010年夏 日本の猛暑): 37-44.
- 54) 谷田貝亜紀代, 宮坂貴文, 中村尚. インド北部ラダークの洪水, 気象研究ノート 2012; 225 (2010年夏 日本の猛暑): 45-53.

Summary

Glocally Comprehensive Health Watch at High Altitude

Takashi Nakaoka¹⁾, Takahiro Kawasaki¹⁾, Tsering Norboo²⁾,
Kozo Matsubayashi³⁾, Kuniaki Otsuka¹⁾, Kiyohito Okumiya⁴⁾

- 1) Department of Medicine, Tokyo Women's Medical University, Medical Center East, Tokyo, Japan
- 2) Ladakh Institute of Prevention, Leh, Ladakh
- 3) The Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University, Kyoto, Japan
- 4) Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, Japan

Background: On 1 August 2010, an entire hemisphere of the sun erupted. Filaments of magnetism snapped and exploded, shock waves raced across the stellar surface, and billion-ton clouds of hot gas billowed into space. A coronal mass ejection (CME) headed directly for Earth. The huge solar storm triggered unusual northern and southern auroras appearing on the night of August 3. Geomagnetic turbulence in Japan was observed on 4 August. The CME could have driven disastrous flooding occurring in Ladakh on 5 and 6 August 2010 in association with an annual acrophase of environmental temperature recorded by us there and also reported in Pakistan and in Gansu, China. A heat wave and smog were presumably associated with the CME in Moscow on 2-9 August.

Aim: A chronoecologic health watch in Ladakh, using “glocal comprehensive assessment (GCA)” to study the human circulation, autonomic nervous system activity and health quality as a physiological system at high altitude, complements a chronoecological study in Japanese towns. Ladakh is a very arid region of east Kashmir, adjacent to Tibet, at an altitude of 2500 to 4600 m between the Karakoram and the Himalaya ranges.

Subjects: 3418 Ladakh residents, i.e., 549, 461, 447, 164, 788, 420 and 589 citizens, were checked out annually since 2004 to 2010, respectively. High-altitude environments have less oxygen, lower pressure, cold temperature and strong UV-radiation. From June 2009 to September 2011, we monitored, every 30-min, among other data, air temperature, relative humidity, air pressure, wind direction, wind speed, rainfall, upward/downward long/short wave radiation and UV-radiation investigated in chronomic serial sections with a 24-hour and a separate 7-day cosine fit.

Results: Disastrous floods on 5 August followed the CME on 1 August 2010, seen in serial sections of rainfall. Meteorological observation disclosed a disruption of 1/f fractal scaling of the environmental temperature before the floods in Ladakh, whereas serial sections showed the circannual acrophase. Annual Health Watch shows, as compared to Japanese subjects, that residents in Ladakh slept less (7.8 vs. 6.9 hours, $p<0.001$), a lower SpO_2 (84.4 vs. 96.0%, $p<0.00001$), decreased parasympathetic activity (lower LF and HF; $p<0.05$), higher sympathetic activity (increased LF/HF ratio, $p<0.05$, higher diastolic blood pressure (BP) and heart rate ($p<0.00001$). Floods on 5 August affected the health of Ladakh citizens: Systolic and diastolic BPs increased from 130.1/81.7 to 135.2/85.7 mmHg ($p<0.005$), arterial stiffness CAVI increased from 7.72 to 8.22 m/sec ($p<0.0001$). The percentage of citizens suffering from depressive mood increased from 5.3 to 8.8 % ($p<0.0001$).

Discussion & conclusion: Space weather affected the citizen' health, as demonstrated in this investigation, at least around a 11-year cycle. Thus, an astro-glocal assessment, in space and time, is recommended as background for diagnosis and treatment, especially at high altitude. We can ask whether one of the longer solar, or galactic geological, cycles can override the conditions of the citizen' health as well as the earth weather especially in Ladakh of the minimum in a Horrebow-Schwabe about 11-year sunspot cycle.

(Acknowledgement: This study was mainly supported by Grant-in-Aid of Research Institute for Humanity and Nature (D-03): Human Life, Aging, and Disease in High-Altitude Environments: Physiomedical, Ecological and Cultural Adaptation in “Highland Civilizations”; Leader: Kiyohito Okumiya)