

論 文

## 野外活動における温暖化傾向現象について

—スキーゲレンデの積雪量変化から—

土 方 幹 夫

### はじめに

地球の温暖化現象が報じられて久しい<sup>(注1,2,3,4)</sup>。スキー実習場面を利用して、雪氷の変化を観察することは、教材としての活用価値も高い<sup>(注5)</sup>。自然景観の優れた場所を活動エリアとして行われて来た野外教育や環境教育・自然保護活動は、アウトドアとして今や国民的な潮流として定着し、水や雪氷のプログラムが一般化しつつある<sup>(注6)</sup>。ゲレンデを離れ、静寂の雪山で野鳥や動物を観察することは、都会化された住環境から離れて、質素な自然の豊かさと健康にとっての必要性から多くの人々は求め始めた。雪氷の変化は地域の自然を理解し、地球上の一部としての局所気象を知る上でも重要である。特に、カヌーやスキー、登山など自然度の高い活動を安全に楽しむ上で気象情報を正確に獲得できる。このように、活動を通じて、環境の変化や異常現象を大げさな器材を使わずに、感覚的に察知することは、庶民の観察手法として簡便である。人体の持つ感覚器を駆使し、日々の変化を直接観察し<sup>(注7)</sup>、より科学的なアプローチへと発展する利点もある。

鈴木牧之<sup>(注8)</sup>は北越雪譜に広範な観察記録を記した。また、1936年に雪の結晶作製に成功した中谷宇吉郎<sup>(注9)</sup>はファンタジックな世界を紹介した。現代では坂井与善夫<sup>(注10)</sup>のカマキリの巣の高さと積雪量との関連が、科学的論拠は別にしても、雪国に話題を提供している。

自然界での生活や活動を安全快適に過ごす技として、先人からの感覚的な経験技法として伝習されてきた方法は時には精密機械を超えた能力を発揮し、繊細な感覚を育てる。生育環境や体験量による個人差はあるが、自然への認識が高められ、細やかな情報獲得は、日々の生活にも必要である。周辺環境の変化や僅かな差異を察知し、生息生物<sup>(注11)</sup>や人間が作り出した化学合成物質との因

果関係を自然科学的観点から補える<sup>(注12)</sup>。野鳥の渡来時期、草花や山菜の開花結実時期や収穫量も積雪量や初雪の時期によって変動し、野生動物の出没、昆虫の活動にいかにも影響するかなど興味深い。1970年代に酸性雨が報道され、当時筆者らは、志賀・草津をスキーで走り廻り、オオシラビソやコメツガの先端が枯れていた事を観てはいたが、当時は問題意識が低く、酸性雨に起因するとは<sup>(注13)</sup>認識出来なかった。

## I

積雪量や積雪層段面の測定方法を工夫し、雪結晶の観察<sup>(注14)</sup>撮影などについては、既に1960年代に戸隠高原小学生の雪上キャンプで実施した<sup>(注15)(注16)(注17)</sup>。

2000年以降、少雪に悩まされた標高の低い上信越地域のスキー場は、12月に積雪量が安定せず、人工降雪機（スノーマンや砕氷雪ICS）の導入で年末年始の繁忙期の集客に備えた。人工降雪機の設置は、異常気象による少雪対策及びスキーゲレンデの危険防止を理由に環境省も認めた。高速道路網の発達は、都市部から車の日帰り乗り入れを可能にし、宿泊者の減少を招いた。無雪寒冷地の人工降雪ゲレンデは人気のスキー場となり、無雪期や少雪シーズンの到来は山岳ゴルフ場のシーズン拡大に貢献している。

降雪積雪量と地球温暖化の間には、地球的な規模での陸地や海洋温度、気圧配置などの要因が介在し、結論付けは困難であるが、長期間の気温、積雪量、地理的自然条件を判断材料に、積雪量が地域の環境変化現象の指標として仮設

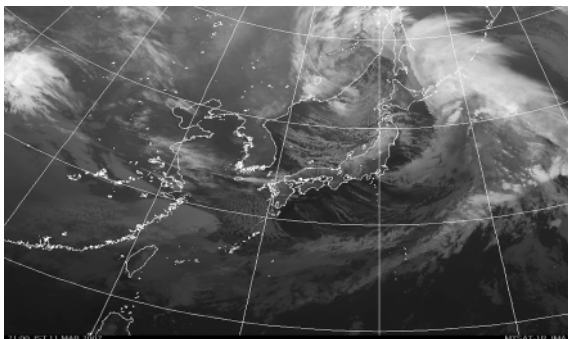


写真1 典型的な冬型雪雲と寒気の噴出し  
気象衛星ランドサットによる（気象協会2011-2）



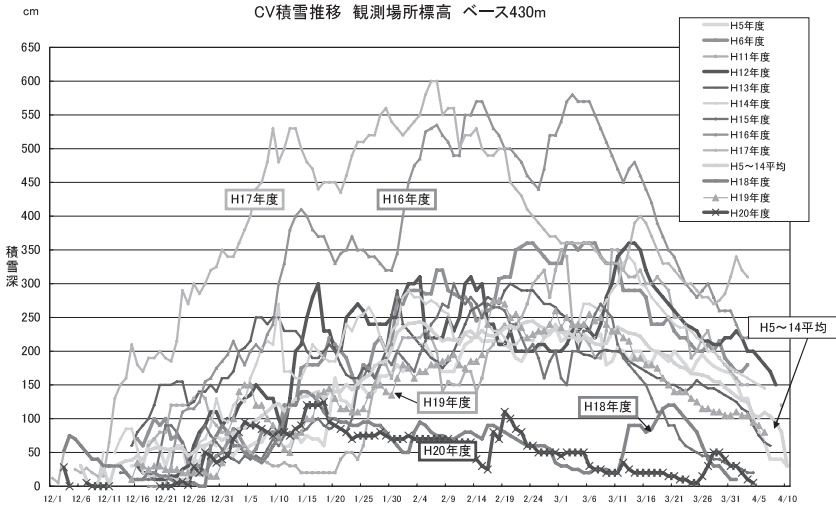
写真2 センターゲレンデからゴンドラ駅舎・菱ヶ岳  
1,129mを望む  
2011年2月 土方撮影

できる。そこで、1978年（昭和53年）以来、実践研究エリアとし、新潟県上越市安塚町（本学が健康・スポーツ演習の授業会場として15年余り実施してきたキューピットバレースキー場）における積雪降雪量の過去15年間のデータ（提供は雪だるま財団及びキューピットバレースキーの協力を得た）から、長期間の積雪量の変化を概観し、標高差と気温、積雪量と地球温暖化による影響を検討し、仮説立証を試みた。

## II 結果と考察

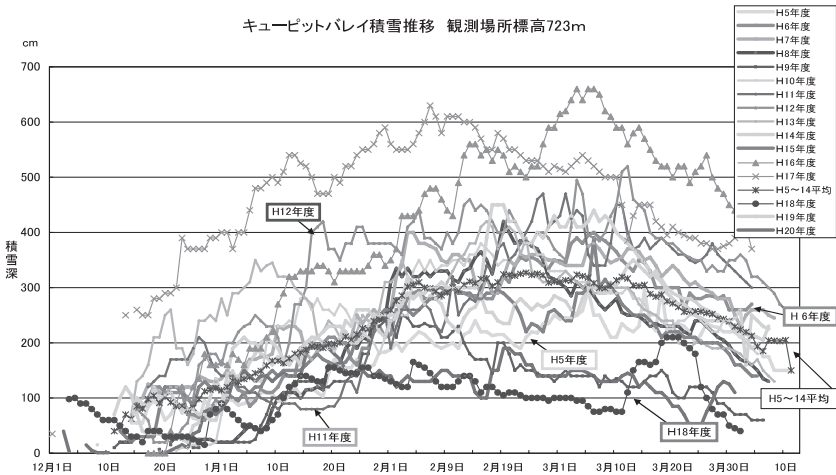
グラフ1～グラフ3は新潟県安塚町須川の菱ヶ岳（1,129m）に開設されたキューピットバレースキー場での積雪観測結果である。海拔430m, 723m, 960mの3地点で直接目視記録し、月別年次別積雪量をグラフにまとめた。標高差による積雪量を比較すると、平均積雪量では430mエリアは滑走可能な50cmを超えたのは12月29日、729mエリアでは12月28日、960mでは12月12日と標高による気温差<sup>(注18)</sup>風速と地形などの要因によって根雪と降雪量には差が見られた。

430mエリアの多雪年は、H12, H16, H6, H12年の順で、729mエリアではH17, H13, H16, H12 960mエリアでは、H17, H12, H5, H16年と類似している。また、降り始め時期が12月初旬から積雪を重ね、滑走可能時期となったシーズンは、430mエリアでは、H17, 20, 18年で、729mエリアでは、



グラフ1 430m地点の月別積雪量の15年間シーズン変化

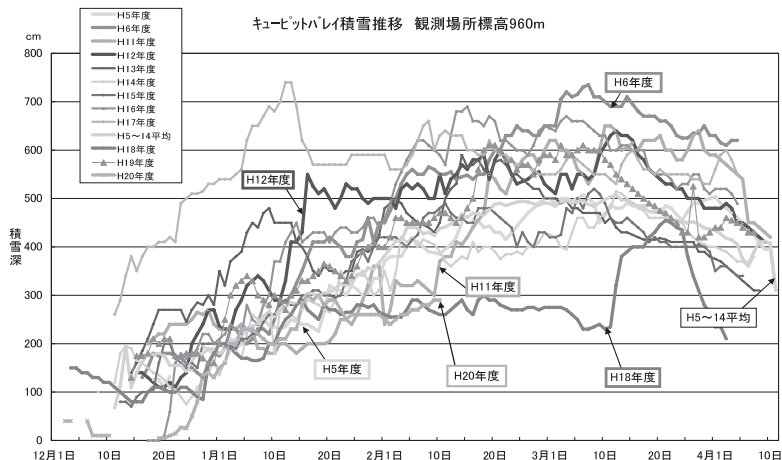
スキー場提供資料より土方作成



グラフ2 729m地点の月別積雪量の15年間シーズン変化

スキー場提供資料より土方作成

## 野外活動における温暖化傾向現象について



グラフ 3 海拔960m地点の月別積雪量の15年間シーズン変化  
スキー場提供資料より土方作成

H17, 18, 20年であったが、平成17年と平成20年では、初降雪から10日間は無雪となり、960mエリアでは、H18年、H20年、H11年で平均滑走可能時期は12月中旬であった。また、平均最大積雪量は250cmと、2月中旬から見れば気象条件の差によるばらつきは大きい<sup>(注19)</sup>。

平均降雪量は、1月下旬をピークに250cmで、従来のスキー場の積雪量からすればH18年からH20年にかけて小雪期を迎えつつある。

年間の積雪傾向は、3月をピークに明らかな減少傾向にある。平成5年から15年の平均値では、標高の異なるエリア間の差異が顕著に見られ、標高の高いエリアの積雪量の減少傾向が示された。18年から20年度の積雪量のばらつきが大きく、確実に積雪量の減少傾向が現れ、マクロ的な要因と地形上の特殊性が推察される<sup>(注20)</sup>。

### 1. 地形による特性

例年では、冬の到来は、12月初旬から、写真2の気圧配置による西季節風が吹き出す。海水温の低下によって、陸地の降雪条件である大気温度を引き下げ、海流位置と海水温がスキー場の地理的自然条件に介在し、指標として、1,500mの気温がマイナス5度となると雪を降らせる。気象衛星の開発によって明確

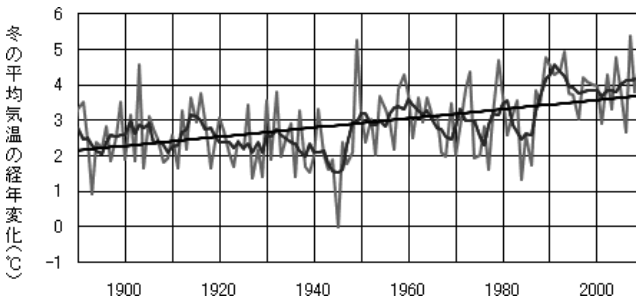
となった降雪条件では、湿度が低く、雪の水分蒸発が進み、周囲の熱が奪われ、日本海側は、11月下旬から12月にかけて大気が不安定となり、「雪起こし」と言われる雷雲が発達し、気温の低下と共に根雪となる。能登半島から富山にかけて、マイナス30度の寒気が張り出すと上越市は大雪となる。新潟市は緯度37,546 経度139,02, 安塚は37,074 経度138,26緯度であり、米山、刈羽黒姫山、尾神岳と言った脊梁山脈と信濃川をまたいで、野沢温泉や志賀高原が太平洋側に連なる地形に日本海沿岸から急激に山脈エリアに水分を含んだ上昇気流が湿雪をもたらし、3月初旬まで降雪期となる。日本海直近の山岳地に大雪を降らせ、大陸からの寒気は標高1,000m以上の山岳エリア（飯山、戸狩、湯沢、志賀高原、菅平）に乾燥した積雪となる。キューピットバレースキー場は日本海から10kmと福井、富山に類似した地理的条件下にある。

逆に、新潟市は高田から100km以上も北東位置にあり、海岸から山岳地が30kmから50kmと内陸平野部で、佐渡島で湿った季節風が雪を降らせるために、北西季節風が強く、降雪量・積雪量は上越市と比較すれば5分の1と極端に少ない。第1表の上越市高田のシーズン気温と降水量に差異が認められる。

第1表 新潟県上越市の月別スキーシーズンの平均気温

月 別	1月	2月	3月	4月	12月
平均最高気温 (°C)	5.8	5.8	9.6	17.2	9.3
平均最低気温 (°C)	-0.8	-1.2	0.6	5.6	1.6
降 水 量 (mm)	413.3	275.1	190.8	94.9	420.3

(高田測候所資料より土方作成)



グラフ4 新潟市の平均気温の経年変化 (気象庁・高田観測所 2010)

グラフ4は過去100年間の冬季（12月から3月）平均気温の推移であり、上昇傾向にある。

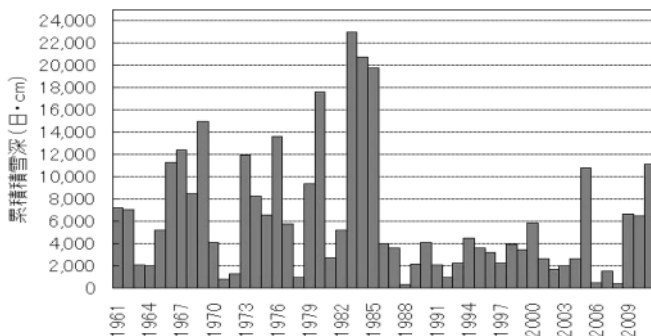
## 2. マクロ要因

日本の30年間の気温上昇率について、マクロ要因である大気温度と陸地の温度変化を気象科学では既に明らかにされ、海水温の影響（地球水分の97%が海水であり、陸地の1,000倍もの熱保有率）が起因しているとし、IPCC<sup>(註21)</sup>によれば、「1981年から2000年では世界の平均気温は0.2度上昇し、100年間の気温上昇率は、0.5℃で、地上温度が100年間では0.78℃（1880～2007年）上昇している。第2表は、気象庁による1949年以降のエルニーニョ現象及びラニーニャ現象の発生期である。エルニーニョ監視海域の海面水温の基準値との差を、5か月移動平均値が6か月以上続けて+0.5℃以上となった場合を「エルニーニョ現象」、-0.5℃以下となった場合を「ラニーニャ現象」と定義し、以下が発生年度である。キュービットバレーの多雪年のH12、H16、H6、H12年の順で、729mエリアではH17、H13、H16、H12 960mではH17、H12、H5、H16年との関連は示されなく、これらの現象が介在し始めたのは2010年以降と推察

第2表 エルニーニョとラニーニャの現象発生年度

エルニーニョ	1951	1953	1957	1963	1976	1982	1983	1987		2002	2009	
ラニーニャ	1954	1955	<b>1964</b>	1967				1988	1989	2007	2008	2010

気象庁・WMOデータより土方作成2012



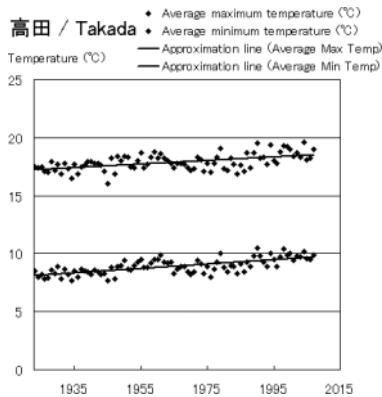
グラフ5 上越市高田の累積積雪量

高田測候所 2012—4

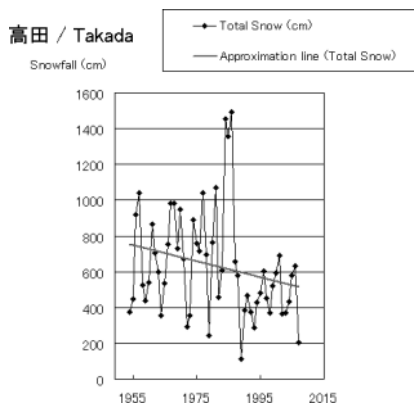
される。

2007年から2012年にかけて猛暑の影響と、北極からの換気の異常進路は、竜巻や集中豪雨、台風進路の西北より進路の変化などが顕著な現象が見られ、2009年5月には全国の平均気温平年偏差は+1.1℃と、100年間での観察上の記録となり、気象庁報告では北日本が+1.6℃、1967年5月の北半球では、+1.1℃と高温化傾向にある。

高田測候所（新潟県上越市高田地区）の積雪記録によれば、1945年2月26日



グラフ 6 平均最低最高気温の変化  
(1923年から2007年までのlivedoor気象データ)



グラフ 7 高田の年間降雪量の変化  
(1954年から2007年Livedoor気象データ)



に、日本の気象台・測候所では最深記録となる積雪377cmを観測した。1978年（昭和56年）には筆者が高田（上越市西城町）に住み、豪雪を体験した。連日の降雪は街を覆い隠し、電柱が頭を出す程で、連日雪掘作業に追われた。しかし、当時は気象予報や観測技術も局地的で、科学技術の導入が無く、気圧配置と温度変化に依存していたため、正確な予報は不可能であった。地球温暖化による高田の平均最高気温と平均最低気温の上昇状況はグラフ6であり、最低気温の上昇傾向が顕著であり、グラフ7の降雪量からも3年間の平均積雪減少量は3.5mとなり、無雪のシーズンの到来が予測される。

## ま と め

スキー場の海拔430m, 723m, 960mの3地点で直接目視記録による、月別年次別積雪量を15年間にわたり観測し、12月の降雪期から、スキーシーズンが終える4月10日までの比較検討を行なった。三地点共に、積雪量は確実に減少傾向にあり、標高430mのセンターゲレンデと723m中間点及び960mゴンドラ付近では、気温の変化が（無風で湿度を無視すれば0.6度/100mで）積雪量に大きく影響を及ぼしている。12月の20日前後に、通常では冬型の気圧配置が進み、シベリア高気圧がユーラシア大陸北東部で発達し、西高東低の冬型となる。日本付近は北からの季節風が吹き、日本海の水蒸気を吸収して、日本海側には雪を、太平洋側には乾燥した冷風を吹かせることが通例である。強い冬型の気圧配置では、沿海州の海岸近くで雲が発生し、日本海側は「すじ状の雪雲」で覆われ、（写真1）日本海側は大雪となる。日本海側にはシベリアからの寒気団が南下し、気温の低下によって根雪となるが、2010年代に入ってから、気温上昇による地上温度の低下が見られず、スキー場では安定した積雪量が得られていない。これはマクロ気象要因である海水温度の上昇や海流変化により寒気団の噴出し蛇行変化<sup>(注22)</sup>から気温が上昇し、影響を及ぼすと考えられる。気象庁によれば、100年間での全国年平均気温上昇率は、 $+1.15^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ （1898～2011年）で、日本海中部の上昇率（ $+1.73^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ ）は日本の気温よりも大きい。日本海北東部は、10年から14・5年の変動幅が大きく、季節別では冬季に有意な上昇を示し、上昇率は $+0.79^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ である。2007年のIPC第4次報告からも、世界的な平均気温や海面水温の上昇傾向が起り、温室効果ガスによる地球温暖化の影響が現れている可能性が高と指摘している。日本周辺海域

の海面水温も地球温暖化の影響が現れていると指摘しているが、必ずしも温暖化の影響に限らず、複雑な要因が降雪量に関わっていると推察できる。降雪地域の生活は<sup>(註23)</sup>交通、経済、物流、教育、観光産業までもが降雪の影響を受け、交通網の発達した現在では高速道や新幹線の移動や除雪など降雪地域<sup>(註24)</sup>に多様な功罪を残す。

本学が演習授業の会場として利用して来たキューピットバレースキー場における積雪降雪量の過去15年間のデータから、積雪量の変化を概観し、標高差と気温、積雪量と地球温暖化による影響を検討した結果、1. 降雪時期と積雪量には明確な関係が認められない。2. 地球規模のマクロ要因である地球温暖化<sup>(註25)</sup>は、本スキー場の積雪量に直接関連して来たが、2010年以前は不明であった。3. 標高差による初降雪時期は大地の低温化が根雪となる時期に影響している。4. 安塚町須側地区にある雪だるま高原キューピットバレースキー場は、日本海から直近にあり、脊梁山脈によって特殊な降雪積雪環境にあり、地形による地理的自然条件が大きな要因と言える。

本調査研究に資料を提供し、多大な協力を頂いた雪だるま財団及びキューピットバレースキー場 渡邊武敏氏に末筆ながら謝意を申し上げる。

## 注

- 1) Arndell N. 2000 Hydrology and Global Environmental Change. Pearson Education PrenticeHall), 346
- 2) 特集「地球温暖化をよむ「IPCC第4次報告書」科学, 77 2007年7月
- 3) 近藤洋輝 地球温暖化予測の最前線 成山堂2000
- 4) 1979年はユーラシア北部から北極圏, 北米全体が異常低温で、ユーラシア大陸は平均比+2度～プラス4度の異常気温画継続し、IPCCは気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change) で太陽活動の低下に伴う気温の低下は、温室効果ガス増大に伴う気温上昇に比べて小さいと報告
- 5) 土方幹夫 冬季野外教育活動実施上の諸問題 野外運動研究 1985
- 6) 岸 樽夫/土方幹夫 自然活動入門 アイオーエム 1992

## 野外活動における温暖化傾向現象について

- 7) 田村盛彰 雪の観測と実験 理科実験指導書 1982
- 8) 鈴木牧之 1837年(天保8)秋頃に初編各巻が江戸で発行され、1841年(天保12)雪の成因・雪の結晶のスケッチなど科学的分析し、雪国例を挙げて説明している。
- 9) 谷宇吉郎博士(1900~62)は、北海道大学で雪の研究を行い、低温室実験で1936年世界で初めて人工雪を、うさぎの毛に結晶させた。温度と水蒸気量の値を変えれば結晶は変化することが判明し、2つの条件と形の関係を中谷ダイヤグラムにまとめた。「雪は天から送られた手紙である」と表現した。
- 10) 酒井與喜夫著 カマキリの巣の高さと積雪量 (社)農山漁村文 2005
- 11) 高橋喜平 雪国動物記 日本出版センター 1985
- 12) 日本登山学校編 山の気象と観天望気 日本文芸者 1980
- 13) 南雲 清 大気汚染と健康破壊 医療図書出版社 1978
- 14) 清水 弘 積雪観察法 日本雪氷学会 1981
- 15) 宮本昭正 大気汚染と呼吸器患者 南江堂 1980
- 16) 大橋・土方 地域性を生かしたコミュニティスポーツの検討 新潟体育学研 1984
- 17) 土方幹夫 冬季キャンプの居住環境と生態変化 日本雪工学会論文集 1989
- 18) 標高の高いエリアの積雪量と、12月シーズン前の降雪時期が早いことが当然であるが、430m(2.79度)729m(6.01度)960m(7.92度)で最大差は5.13度
- 19) ゲレンデは日本海から5kmエリアにあり、刈羽黒姫山 891m 米山 992.6m 尾神岳757mが脊梁山脈として季節風をさえぎるように菱が岳1,129mに繋がり、積雪降雪地域とされるが、逆に海水温温度や気圧配置寒気団の影響を直接受け易い
- 20) ラニーニャ南東貿易風が強まり、西に向かう海流が強まるために冷水がわき上がり、水温が低くなる現象。
- 21) 前出の注4) 土方幹夫 寒冷地における公園の活用 公園緑地Vol 1998
- 22) 沼野夏生 雪害 森北出版 1987
- 23) 昭和38年(1963年)新潟県を始めとして北陸地方は未曾有の大豪雪に見舞われ暮れから降り続き、長岡では1月30日に318cmの最深積雪を記録。「38豪雪」。
- 24) 北陸地方建設局 56・61豪雪の記録 1986
- 25) 世界気象機関 World Meteorological Organization ; WMO, Organisation Météorologique Mondiale ; OMMの専門機関で、気象事業の国際的標準化と気象情報・資料の効率的な交換業務を実施。2012年11月の報告では、CO<sub>2</sub>の世界平均濃度が390.9ppm 1750年の1.4倍海洋が吸収したCO<sub>2</sub>によって海洋が酸性化し、日本近海では1984年のPH8.175から2012年はPH8.118に酸性化が進行してきた。