

鹿児島県の地表大気中 ^7Be 濃度の変化

鹿児島県環境保健センター

 今村 博 香・大津 睦 雄
 西原 充 貴・出雲 信 明

1 はじめに

本県では、川内原子力発電所周辺環境放射線調査の一環として、大気中浮遊塵の放射能調査を行っている。この調査では天然放射性核種である ^7Be が常に検出されている。 ^7Be は宇宙線による酸素、窒素の原子核破砕反応によって生成される誘導放射性核種であり¹⁾、ほとんど成層圏、上部対流圏で生成される。地表大気中の ^7Be 濃度については日変化²⁾、季節変化²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾、経年変化²⁾³⁾⁴⁾⁶⁾ が報告されているが、そのうち日変化については、あまり報告がされていない。これまで本県で測定された大気中浮遊塵中の ^7Be 濃度についても日変化、季節変化、経年変化が認められており、その濃度変動の様子及び変動要因の考察について述べる。

2 実験

2.1 試料採取及び前処理

2.1.1 日変化

調査は1999年4月9日～2000年4月10日に行った。

調査地点は鹿児島県鹿児島市城南町18-1の鹿児島県環境保健センター（5階建）屋上で、図1に示す。

浮遊塵のサンプリングはハイボリュームエアサンプラーにより流量率約1000ℓ/分でグラスファイバーろ紙に捕集した。グラスファイバーろ紙はシュレッターで細断し、プラ

スチック容器に詰め、測定試料とした。浮遊塵のサンプリング時間は主に24時間とし、事情により2～6日のサンプリングを行った。

2.1.2 季節変化及び経年変化

調査期間は1982年7月～2001年3月に行った。

調査地点は鹿児島県川内市久見崎町小平（小平局）で、図1に示す。

浮遊塵は連続採取方式の移動式ダストモニターのろ紙により採取した⁶⁾。空気の流量は約140ℓ/分である。採取期間は1月～3月（I）、4月～6月（II）、7月～9月（III）及び10月～12月（IV）の各四半期で、約3カ月毎に採取した。1982年～1996年3月はセルロス+ガラス繊維ろ紙により浮遊塵を捕集した。ろ紙を450℃で灰化後混合し、一部を容量約100mlの円筒形プラスチック容器に詰め、測定試料とした。



図1 試料採取地点

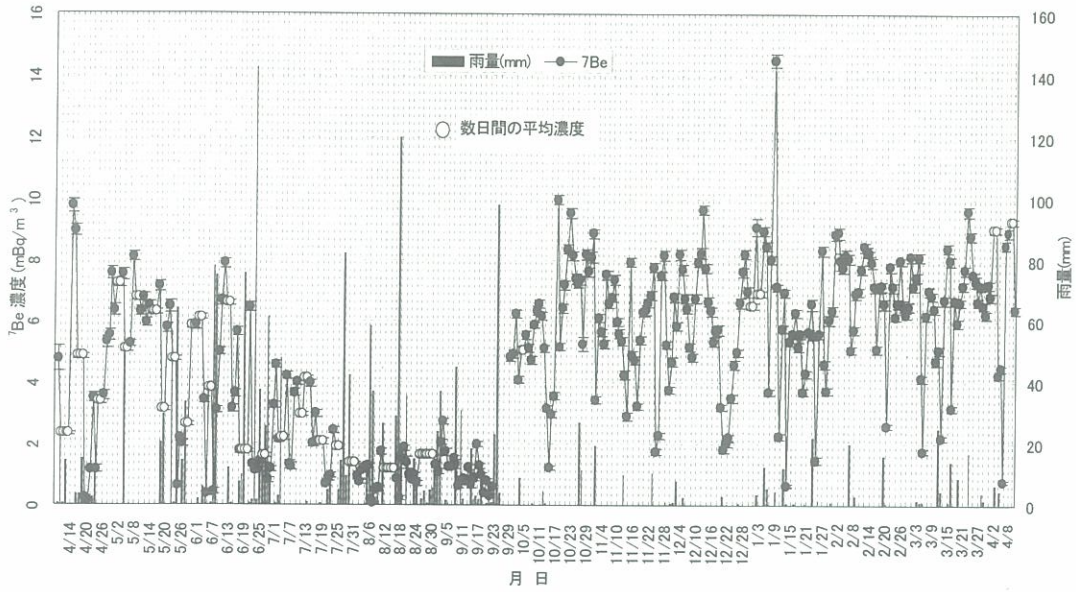


図2 ^7Be 濃度及び降雨の日変化

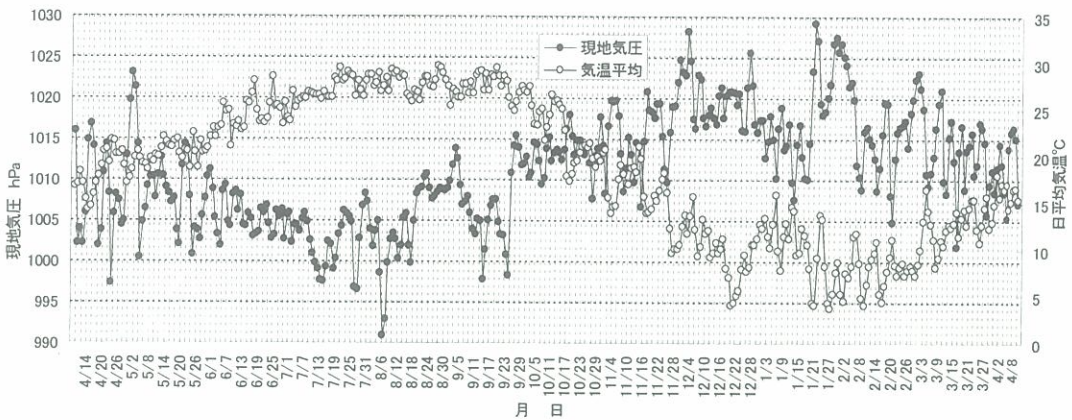


図3 現地気圧及び日平均気温

1996年4月～2000年3月はガラス繊維ろ紙により浮遊塵を捕集した。1996年4月～1999年3月では、ろ紙をミキサーで約30分混合し、一部を容量約100mlのプラスチック容器に詰め、測定試料とした。1999年4月～2000年3月は、ろ紙をシュレッダーで細断し、プラスチック容器に詰め、測定試料とした。

2. 2 測定方法

^7Be の定量はGe半導体検出器を用い、 ^7Be の放出する γ 線(γ 線エネルギー477.5keV, 放出比10.3%)により行った。測定時間は22時間以上とし、検出限界値を0.5mBq/m³以下とした。 ^7Be 濃度は採取期間中の平均濃度として計算した。

雨量は転倒マス型の雨量計で測定した。日変化に対しては鹿児島県環境保健センター、季節変化に対しては川内市久見崎町小平での

表1 四半期毎の統計値

期間	(mBq/m ³)				
	全データ	II (1999)	III (1999)	IV (1999)	I (2000)
	1999/4/9~ 2000/4/10	1999/4/9~ 1999/6/30	1999/7/1~ 1999/9/30	1999/10/1~ 1999/12/31	2000/1/1~ 2000/4/10
平均	4.9	4.3	1.6	5.9	6.5
標準偏差	2.7	2.5	1.2	1.9	2.1
最大	14.5	9.8	4.9	10.0	14.5
最低	0.1	0.1	0.1	1.2	0.6
変動係数	0.6	0.6	0.7	0.3	0.3
データ数	317	62	67	90	98

雨量を用いた。

気象図は気象庁天気図を現地平均気圧、平均気温は鹿児島地方気象台（北緯31°33′1″東経130°33′1″）の観測値を用いた。

3 結果及び考察

⁷Beの日変化を雨量とともに図2に、日平均気温、現地気圧を図3に示す。また、1999年4月～6月（II）、7月～9月（III）、10月～12月（IV）及び2000年1月～3月（I）の各四半期毎の⁷Be濃度統計値を表1に示す。

3.1 ⁷Be濃度日変化の概要

全平均は4.9mBq/m³で、最低値は0.1mBq/m³、最高値は14.5mBq/m³であった。日変化は季節により異なるパターンを示した。4月から7月上旬にかけては濃度の増減を繰り返しながら徐々に減少している。表1に示すようにこの時期（II）は標準偏差が2.5mBq/m³と1年のうちもっとも大きく、期間中濃度が大きく変動していることを示している。7月から9月下旬（III）にかけては濃度がもっとも低くなり、日毎の変動幅も小さく、⁷Beの補給が少ないことがわかる。9月下旬の秋分の日あたりから急に濃度が高くなり、4月上旬（IV、I）まではおおむね高濃度であるが、高濃度と低濃度を繰り返す、変動が大きい。年間の高濃度もこの時期に多い。このように夏場の太平洋高気圧に覆われる時期に低濃度で推移し、

秋から春にかけて高濃度で推移するという、異なった変動の様子がみられた。

3.1.1 ⁷Be濃度の高濃度と要因

全測定値の最高値を2000年1月8日に記録したが、1月6日～7日に低気圧が日本海を通過し、1月6日は全国的に昇温し、1月7日は北日本を中心に大荒れであった。1月6日、1月7日の天気図を図4、図5に、上空500hPaの天気図を図6に示す。1月7日に北海道付近で低気圧が発達し、それから延びる前線が本州を通過している。また、図6をみると上空500hPaでは、地上低気圧西側に気圧の谷がみられる。1月8日は鹿児島地方は曇りであったが、現地気圧変化をみると気圧の山であった。図7⁹⁾に示すように偏西風波動による発達中の温帯低気圧には寒冷前線と温暖前線が認められ、寒冷前線の東側では太い矢印に沿って下層の暖湿な空気が北に向かうとともに上空の気圧の谷の前面にある上昇流によって上昇する。上空の気圧の谷の西側には下降流があり、乾いた冷たい空気が下降しながら東に進み、温湿な下層の空気と衝突して寒冷前線を作る。図4に示すように1月6日は前線を伴った発達しつつある低気圧南側に九州は位置しており、暖かい風のため気温は上昇し、気圧は低くなり、図2に示すように⁷Be濃度は低く、極小となっている。1月7日は図7に示すような状況にあり、図3に示すように寒冷前線の通過とともに気温は下がり、気圧は上昇し、⁷Be濃度が急上昇を始めている。先ほど示したように下降流が生じているものと考えられ、成層圏または上部対流圏からの⁷Be供給⁸⁾により1月7日から8日に⁷Be濃度が上昇したものと考えられる¹⁰⁾。2番目に高濃度を

記録したのは10月17日で、日本海で発生した低気圧が10月16日から17日に北海道付近で急速に発達し、974hPaになった。前線も九州南方まで延びていた。図3に示すとおり鹿児島では現地気圧は山となっており、気温は下がった。3番目に高濃度を記録したのは4月14日であった。4月13日は日本海で低気圧が発達して日本海が大荒れになっており、4月14日は北海道の北方に低気圧は抜け、前線が九州南方に延びていた。図3に示すように4月14日は鹿児島は気圧の山になっており、気温も下がった。これらについては先程述べた下降流により⁷Be供給を受け、高濃度になったものと考えられる。

また、9mBq/m³を越える濃度は夏場には観測されず、10月から4月のうちで10回観測されたが、すべて日本海付近から北海道、太平洋方面へ発達しつつある低気圧が通り抜けている。これらの⁷Be高濃度との関連が考えられる低気圧を表2に示す。低気圧が最も低くなったころ⁷Be濃度が極大値を示す傾向にあった。しかし、低気圧が九州からかなり遠くに行ったり、次の低気圧が近づいていると、必

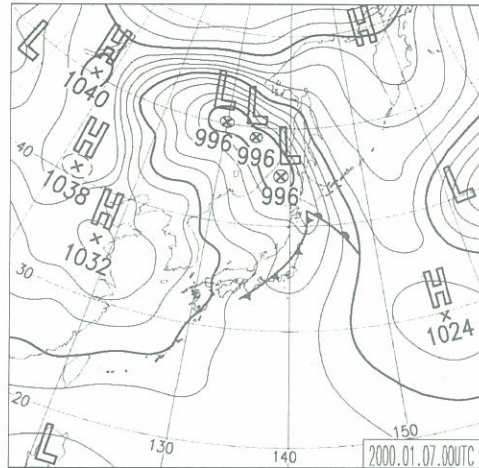


図5 天気図 (2000年1月7日)

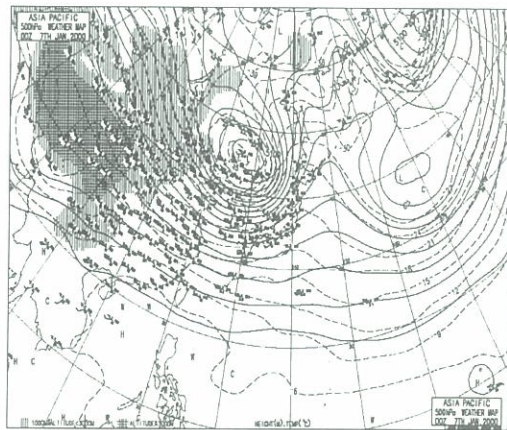


図6 上空500hPa天気図 (2000年1月7日)

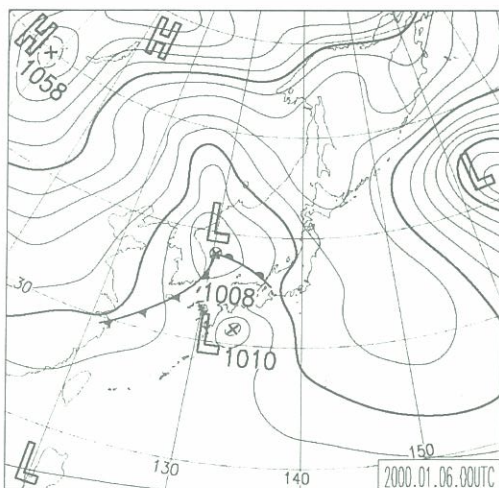


図4 天気図 (2000年1月6日)

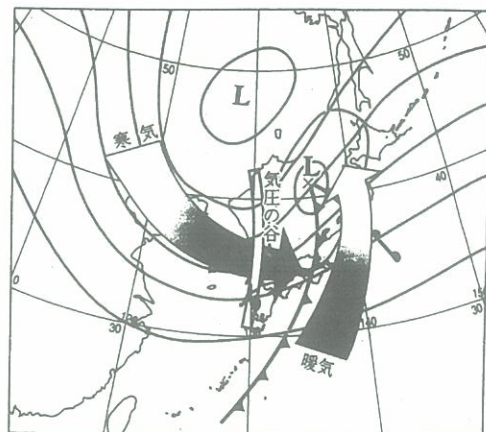


図7 発達中の地上低気圧と500hPaの気圧の谷近傍の空気の流れ (模式図)
(太い矢印の中で濃い部分ほど高度が低い)

表 2 ^7Be 高濃度時の低気圧の様子

^7Be 濃度順位	^7Be 高濃度日	発達低気圧の最低気圧日	最低気圧 (hPa)	最低気圧日の場所	^7Be 濃度上昇開始日	低気圧前線通過日	低気圧の日本付近通過の様子
1	2000年1月8日	1月7日	996	北海道	1999年1月7日	1月7日	渤海湾から日本海をへて北海道へ
2	1999年10月17日	10月16日~17日	972	樺太北部	1999年10月15日	10月15日	日本海をへて北海道樺太へ、もう1つ本州沿いに太平洋をカムチャッカへ2つが合体
3	1999年4月15日	4月14日	972	カムチャッカ沖	1999年4月12日~13日	4月12日	日本海からオホーツクカムチャッカ
4	1999年12月12日	12月12日	970	樺太北部	1999年12月9日	12月9日及び12月10日2つの低気圧前線が連続して通過	12/10前線通過、もう1つは中国吉林省から宗谷海峡、樺太へ
5	2000年3月22日	3月21日	956	青森より1500km太平洋上	2000年3月19日	3月19日	3/19九州付近を前線を伴った2つの低気圧が通過
6	1999年10月22日	10月23日~24日	998	北海道北東200~300km	1999年10月22日	10月22日	ハバロフスク北から北海道へ
7	2000年4月8日・9日	4月7日	968	カムチャッカ西のオホーツク海	2000年4月6日	4月5日	函館付近で発生した低気圧の前線が九州を4/5通過オホーツクに進む
8	2000年1月1日	1月3日	976	1月2日本州から1000km程度の太平洋で976hPaこのとき九州をたの前線が通過	1999年12月31日頃	特になし	12/31日本海から太平洋へ
9	2000年4月1日・2日	4月3日	972	カムチャッカ200km沖	2000年3月31日	3月31日	低気圧が奥尻島付近に発生それより延びる前線が3/31頃九州通過カムチャッカで4/29hPaに低気圧が4/2九州南300km程度にくる
10	2000年1月4日	1月4日	992	青森より1000数百km太平洋上で1/4 996hPaさらに少し発達しながら北へ向かう	2000年1月3日	1月2日から3日	日本海から1/3太平洋抜ける

ずしも最低気圧の時に ^7Be 濃度が極大値を示していない。また、発達中の低気圧から延びる前線通過後に ^7Be 濃度の上昇がみられる。表2に前線の通過日と ^7Be 濃度の上昇開始日を示しているが、非常によく一致している。これらのことから、 ^7Be 高濃度が発生する主な要因として、発達中の温帯低気圧に伴う、下降流の影響が考えられた。

3. 1. 2 ^7Be の低濃度と要因

1年のうち最も低い濃度は夏場の1999年8月6、7日で、台風が数十kmのごく近くを通過している。図8⁷⁾に天気図を示す。図3の現地平均気圧をみると、1年で最も低い値を示した8月7日の気圧の減少率も、かなり大きくなっており、雨であった。2番目に低い値は1999年4月19、20日で、18日から前線を伴った低気圧の中心が南九州付近を通過し、図3に示すように気圧は極小値を示し、低い。気圧の減少率も大きく、雨も少しあった。図9に天気

図を示す。また、この日は濃霧が発生した。濃霧時に ^7Be の低濃度は他にも報告されている⁹⁾。3番目に低かったのは1999年8月17日で、熱帯性低気圧が近くを通過し、図3に示すように気圧は極小値となり、気圧の減少率も大きく、多量の雨がかった。このようにごく近くを低気圧の中心が通り、気圧の減少率が大きく、雨がある等の条件の時に濃度の低くなる傾向にあった。台風の中心近くや低気圧の時は上昇気流が起っており、上昇気流が低濃度をもたらす要因の一つであると考えられる。一方、7月23日、9月16日などは、台風との距離がある程度離れており、 ^7Be がやや高くなる例もあった。台風の中心からある程度離れていたため、下降流が起こっていたためと考えられる。

0.5mBq/m³以下の低濃度は10回あったが、すべて4月から9月までの間に記録しており、特に夏場に低い濃度となりやすかった。なお、10月から4月ぐらいに、温帯低気圧の

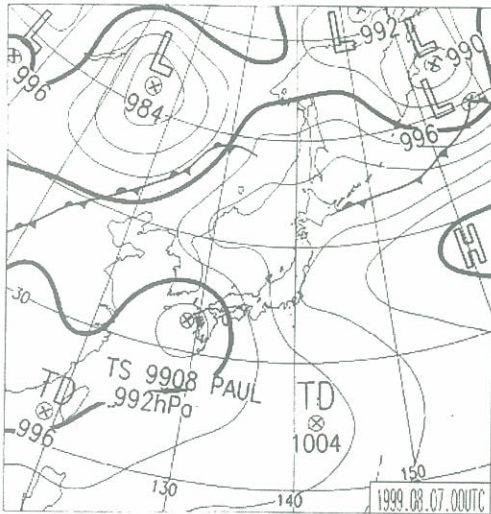


図8 天気図 (1999年8月7日)

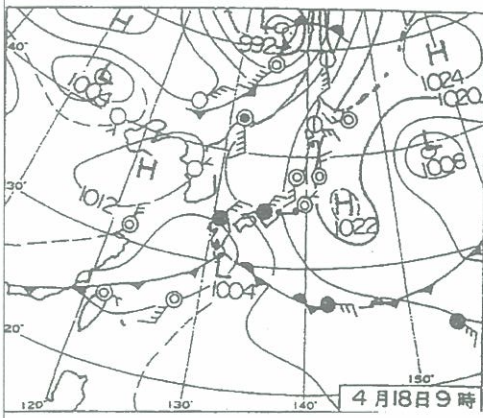


図9 天気図 (1999年4月18日)

発達とともに観測された⁷Be高濃度時には温帯低気圧から延びる寒冷前線が南九州を横切ることが多く、横切る前の⁷Be低濃度がよく観測されている。この時期に1mBq/m³以下の低濃度を7回記録しているが、6回までは寒冷前線通過時に記録された。残る1回は1999年12月20日に記録されたもので寒冷前線通過はなく、気圧の変化はあまりなかったが、気温がかなり低下した。

3. 1. 3 ⁷Be濃度日変化と現地気圧

図3の現地気圧の変化を見ると、大まかには⁷Be濃度と同様の変化をしていることがわかる。4月から6月にかけて次第に減少し、7月から8月にかけて低気圧で推移するが、9月下旬の秋分の日あたりから急に気圧が高くなり、同時に⁷Be濃度も急激に上昇している。4月上旬までは、おおむね高気圧であるが、高気圧と低気圧を繰り返すという⁷Be濃度とよく似た日変化のパターンを示している。日毎の現地平均気圧と⁷Be濃度の変化を比べてみても特に4月から6月までは⁷Be濃度と現地平均気圧の山と谷は一致している。7月～12月までは⁷Be濃度と現地平均気圧の山と谷は60%程度の一致となるが、1月～3月まではまた、85%程度は山と谷が一致する。このように⁷Be濃度変化と気圧の変化は密接に関連していることが伺えた。原因として低気圧では下降流が、高気圧では上昇流が起り、⁷Beの移流に影響を及ぼしていることが考えられるが、7月上旬、11月や12月など⁷Be濃度の谷と低気圧とが必ずしも一致しない時もあり、他の変動要因も関係する場合も考えられる。

なお、温度変化については⁷Be濃度の大きな変動の時、温度の変化も大きい傾向があり、気圧が温度と関連していることを反映していると考えられる。

3. 1. 4 ⁷Be濃度日変化と雨

雨との関連をみると雨の降りやすい天候の時に濃度が低くなる傾向があった。特に、⁷Be濃度の高い、9月下旬から4月上旬の期間で3mBq/m³以下の夏と同じ程度の低い濃度を15回記録したが、その時はサンプリング直前またはサンプリング中に雨が降っている。雨によるwashoutやrainoutの影響で⁷Be濃度をもたらししていることも考えられるが、雨量

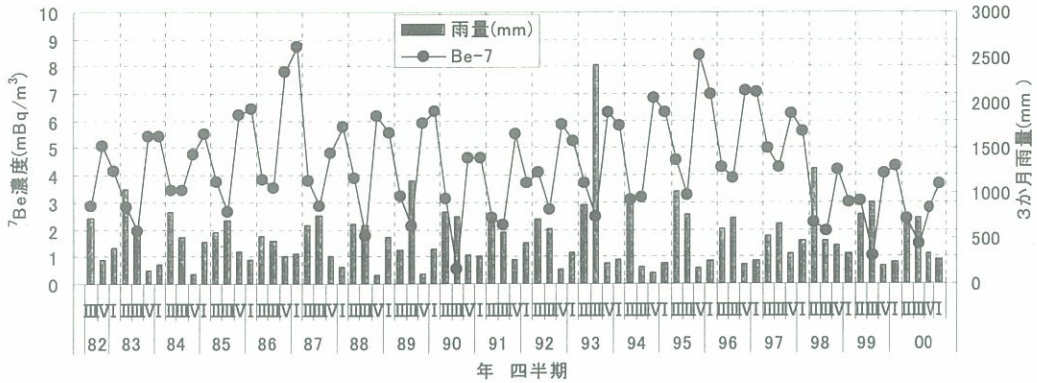


図10 4半期ごとの⁷Be濃度と雨量

と⁷Be低濃度に相関はみられなかった。

3. 2 季節変化

図10に1982年III～2001年Iまでの四半期毎の大気中浮遊塵の⁷Be濃度を各四半期の雨量とともに示す。

四半期の⁷Be濃度の最低値は1990年IIIの0.5 mBq/m³、最高値は1987年Iの8.7mBq/m³であり、太陽黒点数¹⁰⁾の多い時期に最低値を、太陽黒点数の少ない時期に最高値を示した。また、年により四半期濃度の変動の程度が異なった。

大気中浮遊塵の⁷Be濃度は毎年秋から春(IV, I)にほぼ同程度でもっとも高く、次に春から夏(II)に高く、夏期を中心とした(III)でもっとも低くなっており、日変動で示したとおりであった。

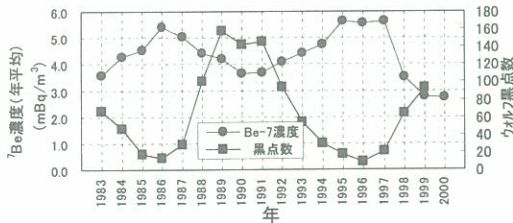


図11 ⁷Be濃度と太陽黒点数

雨量の⁷Be3か月平均濃度への影響はあまりみられず⁶⁾、毎年夏場の太平洋高気圧に覆われる時期に低濃度で推移し、秋・冬・春の移動性高気圧や大陸高気圧に覆われる時期に高濃度で推移していることがわかる。

3. 3 年変化

図11に1983年～2000年の年平均⁷Be濃度を太陽黒点数とともに示す。年平均値の平均は4.3mBq/m³、最低値は2.7mBq/m³最高値は5.6mBq/m³で、最高値は最低値の約2倍であった。

なお、年平均値の計数誤差は約±0.2mBq/m³である。1年毎の変動範囲は0.02～2.1mBq/m³で、平均0.5mBq/m³であり、年平均値の平均の10分の1程度の濃度変動であった。

⁷Be濃度には経年変化がみられ、1986年及び1995年～1997年に極大値を示し、1990年頃極小値を示した。黒点数極小値は1986年、1996年、黒点数極大値は1989年であった。表1より太陽黒点数と年間平均⁷Be濃度の相関係数を求めると、-0.71となり危険率1%で有意であり、両者は負の相関関係にあった。この理由として、太陽活動の約11年周期により

太陽活動が盛んな時は太陽黒点数が増加し、2次宇宙線が減少することがあげられる¹⁾。そのため、主に2次宇宙線との反応により生成される⁷Be濃度と黒点数が負の相関を示すと考えられ、これまで本結果と同様な報告がされている³⁾⁴⁾⁶⁾。

4 まとめ

鹿児島県大気中浮遊塵中の⁷Be濃度について次の結果が得られた。

- (1) 太平洋高気圧に覆われる夏にもっとも濃度が低く、変動幅が小さい。一方、移動性高気圧や大陸高気圧の現れる秋から春にかけて高濃度となり、変動幅も大きい。
- (2) ⁷Beの特に高い濃度は発達しつつある温帯性低気圧に伴って現れ、温帯性低気圧がもっとも低い気圧に発達したころもっとも高い濃度となった。またその時は、温帯性低気圧に伴う寒冷前線通過後に⁷Be濃度の上昇が始まった。
- (3) ⁷Beの低濃度は春から夏に熱帯性低気圧や、低気圧通過時に観測された。雨もよりの時に低濃度となる傾向があった。秋から春にかけても温帯性低気圧通過時に低濃度が観測された。
- (4) ⁷Be濃度の年平均値の経年変化より各年の季節間の⁷Be濃度変動の方が大きい。
- (5) ⁷Be年平均濃度は太陽黒点数(太陽活動)と負の相関を示し、変動は約11年周期であった。

参考文献

- 1) 放射線医学総合研究所監訳；放射線の線源と影響，原子放射線の影響に関する国連科学委員会の，総会に対する1993年報告書，

- 附属書，43～47，実業公報社（1995）
- 2) 阿部道子；大気中⁷Beの時間的変動と滞留時間，エアロゾル研究，10（4），283～288（1995）
- 3) 五十嵐修一，早川博信；地球大気中⁷Be濃度の時系列解析，福井県原子力環境監視センター所報，2巻，31～36（平成7年度）
- 4) 松並忠男，恵 和子；太陽活動に伴う地表面大気中⁷Be濃度及び降水量の変動，RADIOISOTOPES，43，334～340（1994）
- 5) Herbert w.Feely, Richerd J.Larsen and Colin G. Sanderson；Factors That Cause Seasonal Variati - ons in Beryllium - 7 Concentrations in Surface Air, J.Environ.Radioactivity, 9, 223～249（1989）
- 6) 今村博香 田島義則 猩々伸博 奥園和光；地表大気中⁷Be濃度の変動，鹿児島県環境センター所報，14，93 - 96（1998）
- 7) 小倉義光；一般気象学 第2版，182～187，東京大学出版会（1999）
- 8) W.Viezee and H.B.Singh；THE DISTRIBUTION OF BERYLLIUM - 7 IN THE TROPOSPHERE：IMPLICATIONS ON STRATOSPHERIC/TROPOSPHERIC AIR EXCHANGE, ICAL RESEACH LETTERS, Geopys. Res.Letts., 7, 805～808（1980）
- 9) 宇都宮 彬, 土井妙子, 溝口次夫；非汚染地域山間部におけるオゾンの濃度変化，大気汚染学会誌，29（6），332 - 339（1994）
- 10) 国立天文台編；理科年表，113～114，丸善株式会社，（1999）