

GEP MethodとSCIAMACHYを用いた 大気中のメタン(CH₄)濃度の変動要因分析

朴 壽永*・朴 鍾杰*・原田一平*・原 慶太郎*・金 忠實**
(*東京情報大学**韓国慶北大学)

● はじめに

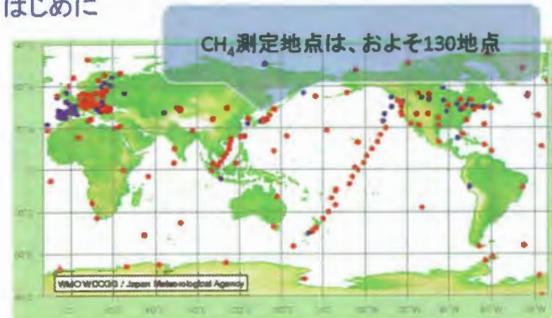


図1 World Data Centre for Greenhouse Gases
(WDCGG: 温室効果ガス世界資料センター)
出所: http://gaw.kishou.go.jp/wdccc/jp/wdccc_j.html

2

● 調査地Gosanの位置



図2 周辺地域との距離

3

● Gosanの位置



図3 Jeju島の規模と観測位置

4

● GosanのCH₄観測タワーと气象台



図4 Gosanの観測タワー

5

表1 Gosanの特徴

区分	Gosan
緯度	33°15'N
経度	126°12'E
観測地点の標高	55m
SAMPLING HEIGHTS	72m
CH ₄ 濃度観測期間	2002~2010年までの1時間値データ公開

出所: http://gaw.kishou.go.jp/wdccc/jp/wdccc_j.html

6

● Gosanの地理的特徴と既往研究の課題

①Gosanは2007年ユネスコ世界自然遺産に登録されたJeju島の最西端に位置しており、韓国内で地域的発生源による影響が最も少ないとされる。

また北側にある韓国の本土から約100 km、西側の中国から約500 km、東側の日本から約300 km離れていることから、韓国内における大気バックグラウンド汚染観測と、中国大陸などからの長距離運送による大気バックグラウンド汚染観測のために最適地と評価されている(Kang *et al.* 2010)。

7

● Gosanの地理的特徴と既往研究の課題

②他方、実験以外の CH_4 観測濃度は、すでに大気中に含まれている既存の CH_4 濃度(以下、既存濃度)と観測時点において発生された CH_4 濃度(以下、発生濃度)が混在しており、Gosanの観測時点において発生された CH_4 濃度の特徴を評価するためには観測時点における発生量のみ測定する必要があるがまだその技術が確立されていない。

8

紫外線強度と水蒸気濃度の変動によりOHラジカル濃度が夏季に高く冬季に低くなることに対応(気象庁編2010a)。

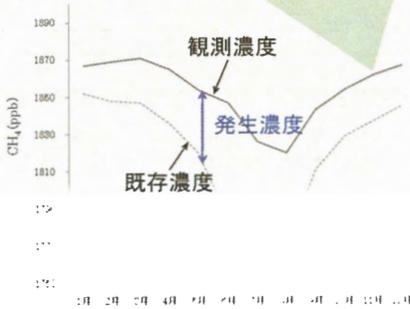


図6 観測濃度と既存濃度

9

● GOSANの地理的特徴と既往研究の課題

③GosanのWDCGGデータを用いた先行研究において、周囲の大気監視観測地点との CH_4 濃度の比較分析に留まっており(Ju *et al.* 2007)、Gosanの観測濃度が示す特徴がまだ明らかになっていない。

④ CH_4 濃度は運送中にOHラジカルとの反応や塩素原子による酸化などによって変化するため移動経路の追跡に限りがある(Platt *et al.*, 2004 and Kang *et al.*, 2010)。

10

● 研究目的

近年朴ら(2012a)が開発した屋外の広範囲を対象にした観測地点周辺からの CH_4 発生を評価する手法のGEP Method(Greenhouse gases Emission Presumption Method)を用いてGosanにおける CH_4 濃度の変動要因とその特徴を明らかにする。

11

● 材料及び方法

- ①調査地と使用データ
- ②推定方法

12

● 調査地と使用データ



図5 分析に用いたWDCGGデータの観測位置

● 推定方法

すでに大気中に含まれている既存のCH₄濃度と観測時点で発生されたCH₄濃度が混在しているため、

それぞれの値を分けることで観測地点からのCH₄発生を推定できる(朴ら2012a)。

● GEP Method

(Greenhouse gases Emission Presumption Method)

CH₄発生により生じたと推定される濃度差
= 観測濃度 - 既存濃度

観測濃度: 朴ら(2012a)は1時間平均値を用い、移流の影響によるCH₄濃度を排除するために、風速0.2m/s以下[注1]静穏のときの月平均濃度を観測濃度として評価した。しかしGosanのCH₄濃度は、毎時定刻に1回計測する1時間値であり、移流の影響を排除するには限りがある。そのため本研究では、移流の影響も含む「観測濃度」を算出・評価した。

既存濃度: 観測地点においてすでに大気中に存在している濃度。緯度の高低によるCH₄濃度の差が存在するため同じ緯度の観測データが望まれる。さらに、南鳥島のように移流の影響や観測地点におけるCH₄の発生源が少ない観測データであることが望ましい。

[注] 風速0.0-0.2m/sの風力階級は0、静穏で煙はまっすぐ昇る状態(気象庁編2010b)。

● GEP Methodの算出式

$$X_i = W_i - E_i \quad (1)$$

$$X = \left(\sum_{i=1}^{12} X_i \right) / 12 \quad (2)$$

i: 1月~12月

W_i: 風速が一定以下のときの「観測濃度」の月平均CH₄濃度

E_i: 「既存濃度」の月平均CH₄濃度

X_i: 月平均CH₄濃度差

X: 年平均CH₄濃度差

● 土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率の推定

GEP Methodの分析結果の中、特に陸域のCH₄発生源による影響を確かめるためにCH₄排出係数(JMIC, 2010)などにに基づき、土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率を算出し、比較分析した。

● SCIAMACHYデータを用いた整合性の確認

長距離からの移流の影響に関する分析結果の整合性を確認するため、SCIAMACHYデータを解析した。

ENVISAT(Environmental Satellite)衛星に掲載されたSCIAMACHY(SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric Cartography)センサによって観測された2007年から2009年までのCH₄データを解析した。

SCIAMACHYは1日に14軌道、全球を6日でカバーする。SCIAMACHYデータの空間分解能は南北に30km、東西に60kmである。観測時間は午前10時。

● 結果及び考察

- ① CH₄濃度の季節変動
- ② 風速と風向によるCH₄濃度変動
- ③ GEP MethodによるCH₄発生濃度の推定

● CH₄濃度の季節変動

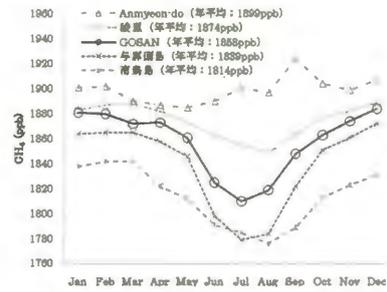


図7 GOSANと周辺地域のCH₄濃度の季節変動
2007年から2009年までの月平均濃度。

● 相対湿度・気温によるCH₄濃度変動

表2 CH₄濃度における相対湿度・気温の重回帰分析結果

区分	標準偏回帰係数 (n=22,517)
相対湿度	-0.18***
気温	-0.41***
R ²	.27***

***p<.001.
2007年から2009年の1時間値。
-は、除外された変数。風速についてはダミー変数処理をした。



高湿度または高温時にCH₄濃度が低くなる傾向。

● 風速によるCH₄濃度変動

表3 CH₄濃度における風速の重回帰分析結果

区分	偏回帰係数	出現数(96)
定数	1852.19***	
風速(0.0-1.5m/s)	.15	805 (4)
風速(1.6-5.4m/s)	-	9,128 (40)
風速(5.5-10.7m/s)	.53	8,257 (37)
風速(10.8-20.7m/s)	23.54***	4,143 (18)
風速(20.8-41.7m/s)	30.26***	185 (1)
R ²	.04***	22,518 (100)

***p<.001.
2007年から2009年の1時間値。
-は、除外された変数。風速についてはダミー変数処理をした。

● 風向によるCH₄濃度変動

表4 風速別CH₄濃度における風向の重回帰分析結果

風向	風速0.5-1.5 m/s		風速1.6-5.4 m/s		風速5.5-10.7 m/s	
	定数	n (%)	定数	n (%)	定数	n (%)
N-NE	-	195 (28)	21.95***	2,877 (32)	-51.56***	3,738 (45)
ENE-ESE	.12	162 (23)	26.33***	1,418 (16)	27.15***	296 (4)
SE-SSW	-4.65	130 (18)	-	3,034 (33)	-	2,392 (29)
SW-W	-12.27*	96 (14)	-67	715 (8)	23.25***	534 (6)
WNW-NNW	-8.64	126 (18)	16.58***	1,084 (12)	60.34***	1,297 (16)
R ²	.01*	709 (100)	.05***	9,128 (100)	.25***	8,257 (100)

風向	風速10.8-20.7 m/s		風速20.8-41.7 m/s		風速0.5-41.7 m/s	
	定数	n (%)	定数	n (%)	定数	n (%)
N-NE	1876.39***	2,287 (55)	-	104 (56)	-	9,201 (41)
ENE-ESE	-25.64*	7 (0)	-	0 (0)	-6.79***	1,883 (8)
SE-SSW	-72.05***	172 (4)	-	0 (0)	-38.85***	5,728 (26)
SW-W	-20.34***	125 (3)	-	0 (0)	-27.02***	1,470 (7)
WNW-NNW	7.99***	1,552 (37)	9.90**	81 (44)	5.56***	4,140 (18)
R ²	.19***	4,143 (100)	.04**	185 (100)	.15***	22,422 (100)

数値は、偏回帰係数(*p<.05, **p<.01, ***p<.001).
2007年から2009年の1時間値。
-は、除外された変数。風速についてはダミー変数処理をした。

● 風向の領域

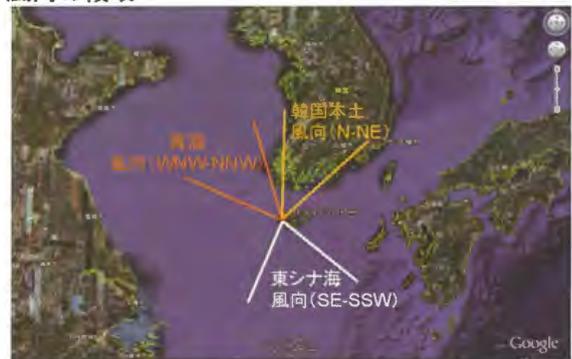


図8 周辺地域との距離

● 風向によるCH₄濃度変動

表5 CH₄濃度における風向の重回帰分析結果

区分	偏回帰係数	出現数(%)
定数	1852.57***	
風向(N-NE)	15.55***	9,201 (48)
風向(SE-SSW)	-23.19***	5,728 (30)
風向(WNW-NNW)	21.22***	4,140 (22)
R ²	.14***	19,069 (100)

***p<.001.
2007年から2009年の1時間値。
風向についてはダミー変数処理をした。

● 気象条件によるCH₄濃度変動

主に西北西と北東の間の海域からの移流の影響を受けてCH₄濃度が増加、西太平洋や東シナ海からの移流の影響によりCH₄濃度が減少する傾向が示唆された。

観測地点から東の陸域に当たる「風向ENE-ESE」においては、風速10.7 m/s以下のときCH₄濃度が増加、風速10.8-20.7 m/sのとき、出現数が非常に少ないもののCH₄濃度が減少する傾向がみられた。

● GEP Methodにおける既存濃度の算出

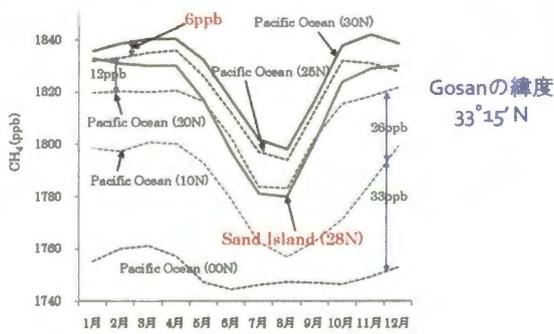


図9 緯度別CH₄濃度
1998年から2007年までの月平均

● GEP Methodによる風速別CH₄発生量の推定

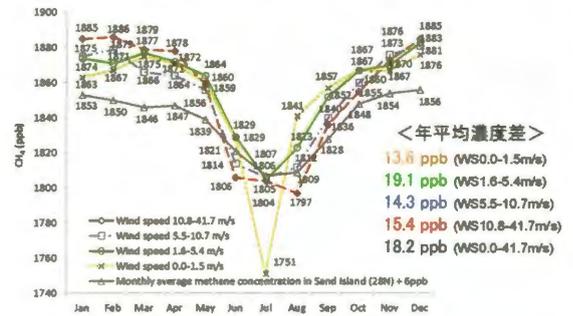


図10 風速別観測濃度の季節変動
2007年から2009年までの月平均。

● GEP Methodによる風速別CH₄発生量の推定

GEP Methodによる全体の「風速0.0-41.7 m/s」の年平均CH₄濃度差は18.2 ppb(0.98%)と推定された。

GosanにおけるCH₄濃度の増加要因として表4の出現数(n=9,128)が最も大きかった「風速1.6-5.4 m/s」の影響が大きいと考えられる。

冬季の1月・2月・11月・12月の「風速1.6-5.4 m/s」と「風速5.5-10.7 m/s」、「風速10.8-41.7 m/s」の月平均CH₄濃度が「風速0.0-1.5 m/s」より高く、夏季の7月を除く6月・8月・9月・10月は低い傾向を示しており、GosanのCH₄濃度は移流の影響により冬季に増加、夏季に減少することを示唆している。

● GEP Methodによる風速別CH₄発生量の推定

また、Gosanの年平均CH₄濃度差18.2 ppbは、比較的CH₄発生量が少ないと考えられる与那国島の年平均CH₄濃度差21 ppb、綾里の年平均CH₄濃度差27 ppb(村ら2012a)よりも低く、Gosanに大規模のCH₄発生源がないことを支持する結果となった(Kang et al., 2010)。

「風速0.0-1.5 m/s」の7月の非常に低いCH₄濃度(n=15)についてはさらなる検証が望まれる。

●長距離の移流によるCH₄濃度の増加原因



図11 風速10.8-41.7 m/sにおけるCH₄濃度の季節変動
月別出現数が0と1は除く。2007年から2009年までの月平均。

●長距離の移流によるCH₄濃度の増加原因

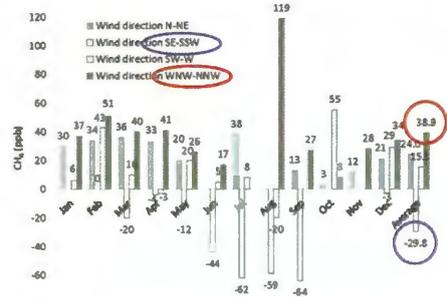


図12 風速10.8-41.7 m/sにおけるCH₄濃度差の季節変動
2007年から2009年までの月平均。

●長距離の移流によるCH₄濃度の増加原因

表6 風速別CH₄濃度に対する風向の重回帰分析結果

風向	風速10.8-41.7 m/s (6月-9月)		風速10.8-41.7 m/s (1・2・3・4・5・10・11・12月)		風速10.8-41.7 m/s (年間)	
	偏回帰係数	n	偏回帰係数	n	偏回帰係数	n
定数	1758.30***		1877.21***		1876.46***	
N-NE	83.58***	51	--	2,340	--	2,391
SE-SSW	--	73	-38.93***	99	-72.12***	172
WNW-NNW	109.49***	68	8.07***	1,565	8.10***	1,633
R ²	60***	192	.06***	4,004	.20***	4,196

数値は、偏回帰係数 (***) p<.001。2007年から2009年の1時間値。
--は、除外された変数。風速についてはダミー変数処理をした。

●長距離の移流によるCH₄濃度の増加原因

冬季の「風向SE-SSE」の出現数が「風向N-NE」と「風向WNW-NNW」に比べ非常に少ないため冬季のCH₄濃度の増加を抑えるには限りがあると考えられる。

図12の「風向N-NE」より「風向WNW-NNW」の年平均濃度差が非常に高いことから年間を通じて中国大陸から運送されて来るCH₄濃度の影響は韓国本土からの影響より高いと考えられる。

●長距離の移流によるCH₄濃度の増加原因

7月の「風向N-NE」と8月・9月の「風向WNW-NNW」は、図2の夏季の季節変動と異なる動きを見せており、朴ら(2012b)による水田域の季節変動と同じ傾向が示されたことから、中国大陸と韓国本土から運送されて来る夏季のCH₄発生源は水稲生産によるものと推測される。

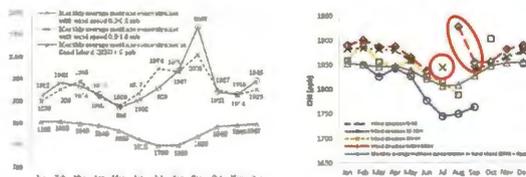


Fig. 5 Seasonal fluctuation in methane concentration
Monthly averages between 2008 and 2009 except 2007

●半径5,400 m圏内と半径74,520 m圏内における
土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率の推定

GEP Methodの分析結果の中、特に陸域のCH₄発生源による影響を確かめるためにCH₄排出係数(JMIC, 2010)などに基づき、土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率を算出し、比較分析した。Gosanの観測地点から半径5,400 m圏内とJeju島の全陸域を含む半径74,520 m圏内に分けて評価した。

WDCGGデータが1時間値であることから、風速1.5 m/s以下の移流の影響を半径5,400 m圏内(1.5 m/s × 60秒 × 60分 = 5,400 m)、風速20.7 m/s以下の移流の影響を半径74,520 m圏内(20.7 m/s × 60秒 × 60分 = 74,520 m)とした。

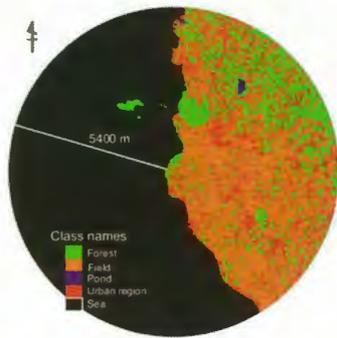


図13 ALOS/AVNIR-2による半径5400m圏内の土地被覆

37

● ALOSを用いた土地被覆の分類

Gosanの観測地点周辺の土地被覆を把握するために用いたALOS/AVNIR-2の地上解像度は10 mである。土地被覆分類はISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) 法によって行った。

2007年10月11日と2008年8月28日、2009年4月15日のALOS/AVNIR-2データを用いて分類した。半径5,400 m圏内の分類結果の精度は2011年8月に現地調査を行い確認した。

半径74,520 m圏内の土地利用と土地被覆は2005年の統計データから整理した(JSSP, 2011)。

38

表7 半径5,400m圏内における
土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率の推定

区分	面積		CH ₄ 発生量と寄与率の推定値	
	m ²	%	tCH ₄ year ⁻¹	%
海	52,324,202	57.2	0.71	0.9
畑	25,665,682	28.0	0	0
森林	8,115,784	8.9	1.23	1.5
池	116,641	0.1	0.13	0.2
都市域(自動車)	5,340,091	5.8	0.16	0.2
面積合計	91,562,400	100		
家畜(牛/馬/豚/鶏)	779/54/5,146/300		78.37	97.2
Propane gas (LPG)	283ton		0.01	0.0
合計			80.62	100

39

表8 半径74,520m圏内における
土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率の推定

区分	面積		CH ₄ 発生量と寄与率の推定値	
	m ²	%	tCH ₄ year ⁻¹	%
水田	1,710,000	0.0	27.36	0.3
海	15,588,948,088	89.4	210.45	2.3
畑	912,598,957	5.2	142.26	1.5
森林	712,782,158	4.1	0	0
池	32,134,330	0.2	36.36	0.4
都市域(自動車)	188,981,923	1.1	30.80	0.3
面積合計	17,437,143,456	100		
家畜(牛/馬/豚/山羊)	27,128/13,240/411,012/ 1,287,614/2,264		3,520.55	37.8
Propane gas (LPG)	283ton		2.68	0.0
一般廃棄物埋立	101.2 ton day ⁻¹		5,282.13	56.8
一般廃棄物の焼却に伴う排出	181.8 ton day ⁻¹		4.98	0.1
ふん尿処理	289 m ³ day ⁻¹		5.17	0.1
下水処理場	112,289 m ³ day ⁻¹		36.07	0.4
合計			9,298.82	100

40

● 半径5,400 m圏内と半径74,520 m圏内における 土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率の推定

海を除く半径74,520 m圏内の陸域面積(1,848,195,368 m²)に対し半径5,400 m圏内の陸域面積(38,361,489 m²)の比率は2.08%、半径74,520 m圏内の陸域からのCH₄発生量(9,088.4 tCH₄ year⁻¹)に対し半径5,400 m圏内の陸域からのCH₄発生量(79.9 tCH₄ year⁻¹)の比率は0.88%であった。

すなわち、半径74,520 m圏内のCH₄発生率は半径5,400 m圏内より高いため、Gosanの観測地点におけるCH₄濃度は半径5,400 m圏内の陸域より圏外の陸域からの移流の影響により高くなると考えられる。

41

● 半径5,400 m圏内と半径74,520 m圏内における 土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率の推定

表4の「風向ENE-ESE」の風速0.0-1.5 m/sより風速1.6-5.4 m/sと風速5.5-10.7 m/sが高い正の有意値(p<.001)を示しており、Jeju島内の一般廃棄物の埋立地の12箇所の中で6箇所が風速1.6-10.7 m/sに当たる半径5,760-38,520 m圏内にあることから裏付けられる(KMLTM, 2011)。

こうしたことから、図10Iにおいて「風速1.6-5.4 m/s」の年平均CH₄濃度差が最も高い理由は、該当陸域におけるCH₄発生源の影響によるものと考えられる。

42

● 半径5,400 m圏内と半径74,520 m圏内における土地利用・土地被覆別CH₄発生量と寄与率の推定

しかし、「風速1.6-5.4 m/s」の「風向N-NE」と「風向WNW-NNW」の出現数が「風向ENE-ESE」より2.8倍高いことから、**中国大陸と韓国本土からの移流の影響が「風速1.6-5.4 m/s」の年平均CH₄濃度差を高める主要因であり、それに該当陸域のCH₄発生源による影響が加わったと推定される。**

JMAFF(2011)によると、牛・豚・鶏の排せつ物の管理方法によってCH₄排出量は大きく異なるが、調査地における各農家毎の排せつ物の管理方法が確認できなかったため、表7と表8の推定結果には限りがある。

33

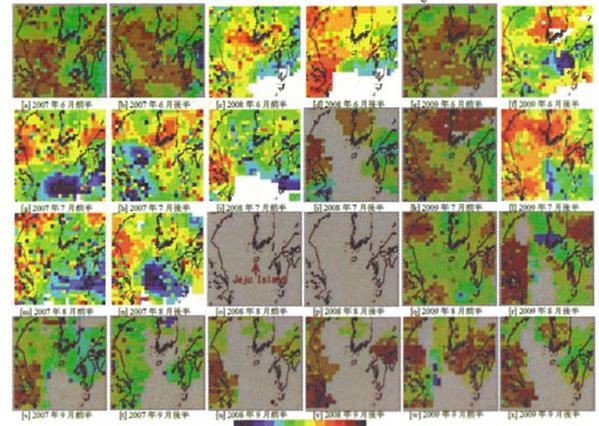


図14 SCIAMACHYデータによる夏季のCH₄濃度変動

34

● SCIAMACHYデータによるCH₄濃度の変動要因

全体をみると、Jeju島の西に位置する**中国大陸**のCH₄濃度が高く、北に位置する**韓国本土**のCH₄濃度も[a], [r], [s]を除き高い傾向を示している。

[a]と[b]はJeju島周辺のSE-SSW方向のCH₄濃度が高く、[e], [k], [q]においては風向による濃度差がなかったが、[c]と[d], [f], [g], [h], [i], [l], [m], [n]はWNW-NNWとN-NE方向にCH₄濃度が高く、SE-SSW方向に低い。

それぞれの方向におけるCH₄発生源を推定するために対象範囲を広げてみると、Jeju島周辺のWNW-NNWとN-NE方向にある高濃度のCH₄は偏西風による中国大陸と北風による韓国本土から運ばれるものと考えられる。

35

● おわりに

本研究では、Gosanを対象にGEP Methodを用いて広域におけるCH₄濃度変動の要因を分析した。

その結果、年平均CH₄濃度の増加はGosanの年平均CH₄濃度1858 ppbのうち18.2 ppbであり、濃度増加の要因として中国大陸と韓国本土からの移流の影響が最も大きく、それに加えJeju島の陸域における一般廃棄物の埋立と家畜生産活動などの影響によるものと推定された。また、西太平洋と東シナ海からの移流の影響によりCH₄濃度が減少することが明らかになった。

36