

2015年度

日本気象学会東北支部気象研究会

■

仙台管区気象台東北地方調査研究会

合同発表会質疑応答集

2015年12月7日(月)

仙台第三合同庁舎 2階大会議室

共 催

(公社)日本気象学会東北支部

仙台管区気象台

No.1

「融雪効果を導入した土壌雨量指数の事例調査（小沢茂）」

Q 1 SiB の入力データは？

A 1 気象庁と気象研究所では、日射や赤外放射、気温、降水量などを入力して地面の熱と水の収支を計算する SiB モデル (Simple Biosphere Model, 生物圏モデル) と呼ばれる陸面モデルを開発した。SiB モデルでは、アメダス日射時間から推定した下向き短波放射、MSM が予想する下向き長波放射、毎時大気解析の風と気温、解析雨量を入力して融雪量を算出し、指数計算のタンクモデルに入力している。

Q 2 青森過小の原因は？（アルベド、降水量、雨雪判別）？

A 2 SiB モデルの詳細な計算手法については把握していないが、青森事例での SiB モデルで推定した積雪深の過小については不明である。当日は降水がないことから考えられる一つの要因として、ちりや排ガス等により雪面の汚れによる雪面アルベド（日射反射率）が低下しているとも推察される。

Q 3 現行基準だと、SiB モデルを利用する場合にはリードタイムは十分に取れるが、解除のタイミングが遅くなると考えられる。この問題について、何か対策はありますか？

A 3 現時点での対策はないが、これまでの調査結果から現行基準での運用は難しいと考える。SiB モデルで推定する積雪深や融雪量のより高い予測精度が必要なことから今後のモデルの改善を踏まえ、引き続き事例調査を継続し、対策を検討して行きたい。

Q 4 融雪量と消雪日には関係ないと思うのですが？

A 4 関係はあると考える。アメダスの実況値と SiB モデルで推定した同一格子内の積雪深を比較すると、SiB モデルの消雪日が遅い事例が多い。消雪日が遅いため実際は積雪状態ではなく、また、降水がないのに SiB モデルの積雪深により融雪量が計算されることから指数が過大になってしまい、現行の大雨注警報基準に当てはめると、基準を超過してしまう事例が多くなる傾向にある。

Q 5 土壌雨量指数に融雪量がどのくらい効いているのかの説明をほしい。

A 5 今回の調査では、指数の計算に新たに融雪量を取り込むことで災害との関係や大雨注警報等の超過状況について調査した。現行の指数と融雪効果を加味した指数（融雪量を取り込む）を比較した場合、これまで解析雨量のみの指数では捕捉できなかった災害が、融雪量を取り込むことで、融雪期間中の土砂災害を捕捉できた事例が多かったことから、災害捕捉の観点からは指数の改善効果に寄与しているものと考えられ、災害捕捉の向上が確認できた。

No.2

「浸水雨量指数の検証（畠山孝浩）」

- Q 1 現在、警報発表している事例で、浸水雨量指数を使うことで、具体的にはどのような場合が改善されるのか？
- A 1 短時間の局地的な大雨の場合は、地理情報の利用により、浸水害に脆弱ではない非都市部などの浸水雨量指数の上昇が抑制され、現行の雨量基準に比べて注・警報の空振りが減る。
- Q 2 指数→事例の場合は⇒空振りは減るということですが、改善した事例は場所の対応も良いということによいのですか？
- A 2 事例調査では、地理情報を利用して、浸水害に脆弱ではない非都市部などの浸水雨量指数の上昇が抑制されることにより、浸水害の危険度が高まっている範囲が絞られ、浸水害が発生した場所との対応も良くなっていた。
- Q 3 浸水雨量指数と土壌雨量指数の使い分けはどのようになりますか？各々の指数どちらか一方でも基準値を超えたら、大雨警報が出されるようになるのでしょうか？
- A 3 現行の浸水の雨量基準（1時間雨量、3時間雨量）を、浸水雨量指数の基準に置き換えるので、浸水の大雨注意報・警報は浸水雨量指数の基準で発表し、土砂の大雨注意報・警報については、今までどおり土壌雨量指数の基準で発表する。

No.3

「LFM を活用した注警報の運用について（西村雅人）」

Q 1 LFM の他の初期値のもの解析は行いましたか？

A 1 今回の研究は、夏場の午後の不安定降水を主対象としていたので、00Z~04Z を初期値として検証を行った。また、スピニアップの時間を考慮し、FT=3h 以降について解析した。主として着目した点は、シアーの位置や降水量分布、500m 高度指数などである。予想結果については、降水量やエコーの出現時間などに多少のばらつきはあるが、大きな初期値替わりはなく、予想結果は安定していた。

Q 2 LFM は毎時、9 時間予報をしているので、対象時間に対して 9 つの予報結果があるはず。予報がうまく／うまくいかなかったものを比較してみれば、うまく予報をするためには何が重要か見えてくるのではないか。

A 2 今回の検証事例・検証時間（00Z~04Z, FT=3 以降）では、予報の初期値替わりなどについては有意なものを確認できなかった。今後はそのような事例についても調査していく予定である。今後の調査において参考としたい。

Q 3 今回、夏場で LFM を使えた事例の発表であったが、同様の夏場でも LFM が使えなかった事例はどうであったか。

A 3 今回は LFM が有効であった事例を主として調査しているため、使えなかった事例について詳細な調査はしていないが、下層におけるシアーや収束が不明瞭であった事例では、不安定降水を表現できていないことがあった。詳しくは今後調査をして行く予定である。

Q 4 風のシアー付近の温度傾度はどうだったか？シアーが形成される過程とシアーの立体構造を解析する必要があるのではないか？

A 4 海から陸に掛けての温度傾度は当然生じていたが、シアー近傍の中通りでは、全体的に地上気温が高く、温度経度は不明瞭であった。この事例は収束による強制上昇と考えるが、シアーが形成される過程や温度傾度との関わりについては今後の調査の参考としたい。

Q 5 LFM の予想をリードタイムを確保した警報の発表にどのように利用するのか？具体的な手順等は？→現業作業で使えるものになる様、調査を進めてほしい。

- A 5 LFM の予想をサブシナリとして設定し、実況が LFM の線に近い場合は早い段階で警報準備に取り掛かることで、より早期に警報を発表できると考える。また、最終的な発表の判断においては、福島独自に使用している警報判定ツールを利用する等工夫し、リードタイム改善に取り組みたいと考える。
- Q 6 LFM で見られた環境場は、他モデル (GSM,MSM) では表現されていたかどうかおうかがいしたい。
- A 6 温度場や暖湿の流入・風の収束など、GSM や MSM でも表現されている要素もあった。ただ、500m 高度各種指数や降水の予想表現には大きく違いがあった。具体的には、本事例の対象時間における GSM, MSM では、降水の予想表現はほとんど無い、若しくは微量であった。その点で、LFM の結果は非常に参考になると考える。
- Q 7 600~500hPa の乾燥空気の寄与とは具体的に何か (断熱冷却による中層の低温化や冷氣プール生成など)
- A 7 本事例では寒気の直接の影響が大きいため具体的な寄与の程度は不明だが、500~600hPa 高度により低湿度な気塊が流入していることや、上空に高渦位域の流入が解析により確認できた。これにより中層の一層の低温化などが引き起こされ、不安定が助長されたのではないかと考えている。
- Q 8 500hPa の乾燥域が発達に寄与するということですが、今回の事例ではどういうところからそう判断したのか教えてください。
- A 8 上記のように、中層の乾燥域は上空の低温化などを引き起こし、不安定を助長することがあるとされている。本事例では、500~600hPa 高度において相当温位が周囲より低い領域 (乾燥域) の周辺で鉛直流の上昇速度が大きいことを解析で確認している。
- Q 9 2013 年の事例について調査されていたが、今年 (2015 年) の事例についての調査はないか? (山形の調査では今年になって LFM の予想が良く当たるようになったため)
- A 9 2015 年の事例も数事例調査し、LFM の有効性を確認できている。しかし、年度別の精度検証は特に行っていないため、今年になって精度が向上したかということについては現時点では不明である。

- Q10 収束線、強雨域について位置と時間がなぜズレたのでしょうか？
- A10 2km の細かい格子とはいえ、実況を完璧に再現しているわけではなく、また、モデルの地形の影響や数値予想の特性により、収束線や強雨域の出現位置や時間はズレることがある。今後のモデルの改良に期待したい。
- Q11 福島や須賀川は良く大雨が降りますが郡山はそれに比べると少ないので、ズレというのはかなり重大だと思います。
- A11 LFM の癖・特性を理解し、実況データにも留意することで、このズレは修正可能であると考えているので、このズレが特段大きな問題であるとは感じていない。

No.4

「福島市の降雪事例に関する調査（高須健嗣）」

Q 1 吾妻山の迂回する流れとの収束はどのように理解したらよいか？

A 1 ライン状のエコーは飯豊連峰や吾妻連峰などの山岳を基点として、太平洋側まで伸びており、これらのエコーを山岳に近い中通り付近と、それ以外の部分に分けて考える。山岳から中通りにかけてのエコー頂は 4~5km と相対的に高く、原稿図 9 より反射強度の強い領域は高度 2km から 3km 付近にのみみられる。また、JMANHM では、図 10 より吾妻山のごく風下側では雲氷の分布はみられず、山岳上空の雪雲から降水粒子が流されている様子がみられた。したがって中通り付近では、山岳で発生した雪雲からの降水粒子が上空の風で流されることで、ライン状にエコーが広がっていると推察される。また、栗子峠と猪苗代付近は地形的に季節風が抜けやすい場所となっており、図 11 では吾妻山の風下側から福島沖にかけて、エコー顕在化前から定常的に、相対的な弱風・高温域がみられる。このため、この領域ではライン状に収束場が形成され、特に地形による強制上昇のある阿武隈高地や、水蒸気の補給のある（？）福島沖で、エコーが強まっていたと考えられる。別の解釈の仕方があれば教えていただきたい。

Q 2 興味深い現象であり、先行研究もあるので、さらに調査・研究を進めていただきたい。

Q 3 栗子峠のみを削った感度実験で、広い領域に影響が出てしまっているのはなぜか？

A 3 計算初期ではほとんど違いがなく、FT の進行に伴って差が大きくなっていることから、地形編集の影響が徐々に周囲に波及しているためと考えられる。

Q 4 JMANHM の計算設定で親・子モデルともに K-F スキームを使っているが、降雪現象では対流パラメタリゼーションを用いたほうが良いのか。再現が良かったということでしょうか。

A 4 KF スキームを使用した実験と使用しなかった実験では、ほとんど再現性は変わらなかった。

Q 5 図 2 のデータで降雪時と無降雪時で t-test くらいしたらいいと思います。

A 5

降雪時と無降雪時での有意差の有無(有意水準 0.05)				
	500hPa	700hPa	850hPa	925hPa
気温	有 (t=6.2,df=784,p<.05)	有 (t=7.1,df=45,p<.05)	無 (t=1.8,df=784,p>.05)	無 (t=1.6,df=784,p>.05)

風	無	有	有	有
速	($t=-1.1, df=784, p>.05$)	($t=-3.4, df=784, p<.05$)	($t=-13.2, df=784, p<.05$)	($t=13.1, df=784, p<.05$)

No.5

「陸面過程モデルによる葉面湿潤度の推定と検証—いもち病の予測を目指して—
(成田裕幸)」

Q 1 降雪時のぬれと、降水後の加湿によるぬれ、どちらが効果的なのか？

A 1 湿度が高いときの濡れ，例えば夜露であると，ほぼ毎日発生しますが，雨による濡れの場合には濡れの継続時間がより長いことが多いです。いもち病に感染・発病する条件のひとつに長時間の濡れというものがあるので，雨による濡れの方が重要性が高いと考えられます。

Q 2 モデル内の説明変数で、どちらが効果的なのか考えてみてはどうか？

A 2 濡れの原因が雨であるのか，高い湿度であるのかを統計的に調べるとわかる可能性があると考えられます。鋭意，検討して参りたいと思います。ご質問，ありがとうございました。

No.6

「[平成 27 年 9 月関東・東北豪雨]栃木・茨城県に大雨をもたらした総観スケールの環境場の特徴について (津口裕茂)」

- Q 1 台風 18 号にともなう北西象限の高渦度域の寄与は？
- A 1 台風第 18 号の渦そのものは、大雨にはあまり寄与していないと考えている。西日本上空に存在していた深い気圧の谷(355K 等温位面での高渦位域)が、大雨の発生に大きく影響していたと考えている。また、この深い気圧の谷は、台風第 18 号の温低化に大きく寄与していた。
- Q 2 どう寄与していくか定量的に評価する方法があれば、ご教示いただきたい (コメント)
- A 2 上空の渦位の動向は、大雨の発生を考える上で重要と考えている。まずは時系列で渦位の状況を細かく見ていくことが必要だと考えている。渦位の収支解析なども有効かもしれない。
- Q 3 鉛直シアの役割はこの降雨の形成にどのような役割を果たしたか？
- A 3 帯状の降水域を構成する“線状降水帯”の形成にとって決定的に重要であった。適度な鉛直シアがあったことで、積乱雲が組織化(線状化)できたと考えられる。
- Q 4 バックビルディング現象はよく見えたか？
- A 4 帯状の降水域を構成する個々の“線状降水帯”には、バックビルディング型形成の特徴がみられた。
- Q 5 降水帯が停滞した理由は？
- A 5 総観スケールの環境場(台風の位置や上空のトラフ・リッジの位置など)がほとんど変化しなかったことがもっとも効いていたと考えている。メソスケールのプロセスに関しては、まだ十分に解析できていないので、今後の課題と考えている。
- Q 6 「ジェットコア南東領域で降水領域が発達」←上昇流場の形成には、総観スケールにおける、ジェット軸をまたぐ形での温帯 L の発達過程が組み込まれているのでしょうか？
- A 6 わからない。
- Q 7 「高渦位域東端にあたる部分で大雨」←大雨が持続した時間帯には、やはり渦位移流(正の)が大きく、動きの遅い高渦位域からの持続的な移流、東側の吸い上げ効果

も効いていたのでしょうか？

- A 7 高渦位域(深い気圧の谷)の維持には、北側からの正の渦位の移流が効いていたと考えられる。“吸い上げ効果”については、よくわからない。

No.7

「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の事例解析（丹原裕）」

- Q 1 降水帯の成因について、奥羽山脈の効果はあったのか？感度実験などをしていたら教えていただきたい。
- A 1 感度実験はしておらず、どの程度山脈の効果があるかは分からない。現業モデルで GSM よりも MSM の方が実況に近い表現をしていたため、地形の効果も効いていると考えられる。今後、感度実験等で明らかにしていきたい。
- Q 2 下層の収束が長い時間継続したことに関連して、消防署が観測している気圧の実況値を調べていたら教えていただきたい。
- A 2 消防署の観測値は調べていない。仙台や石巻の気圧の実況は確認したが、豪雨期間中の大きな場での気圧の低下傾向は見られたが、局地的な現象との比較は行っていないため、今後詳細に解析する必要があると考えている。
- Q 3 線状降水帯とか小さい現象に対して、なぜ 200km 平均を用いて解析するのか？
- A 3 線状降水帯近傍についての解析ではなく、局地的な対流活動の影響を除去した数百 km 程度のスケールでの環境場の特徴を解析するために 200km 平均を用いた。
- Q 4 上層の影響が西から東に移動する様子はどうのように解析しているか？
- A 4 降水域上空の局地的な上層発散については対流活動によるものと解釈したが、総観スケールでの強風軸やそれに伴う上層発散域の推移については詳しく解析していない。今後検討したい。

No.8

「2014年7月9日から10日の大雨について（第2報）（大張絵美）」

- Q 1 3つの事例に共通点は多いが、それぞれが個性も持っている。それぞれの違いをもたらす特徴は何か？
- A 1 個性としてあげた点は、単独では大雨にはならないものと考えられます。今回の調査で、大雨となりうる要素をいくつか解析しましたが、その中では違いをもたらす特徴までは見られていません。冷氣層の形成や降水の予想に差が出ているようなので、実況を中心にさらに解析を進めてみます。
- Q 2 大雨の発生環境場の特徴については、定性的なこと（下層の暖湿気塊の流入、潜在不安定など）はよく分かっている。それぞれの特徴について、もっと定量的な評価が必要だと考えている。
- A 2 コメントありがとうございます。事例数をさらに増やすなどして山形県で大雨となる数値の目安や指標を検討できればと思います。
- Q 3 大規模な水蒸気の輸送と日本海海上での水蒸気の供給はそれぞれどのように考えているか？
- A 3 大規模な水蒸気の輸送としては、太平洋高気圧からの暖湿な空気の流入があります。また、降水のピーク前の日本海上では能登半島から佐渡にかけて水蒸気フラックスの大きな領域があることから、太平洋高気圧からの暖湿な空気が日本海でさらに水蒸気を補給して山形県に流入しているものと考えられます。日本海側（新潟・相川・酒田）の実況は露点温度が高く、相対湿度が90%を超えていたことが確認できました。
- Q 4 実況で降水ピーク後の高圧化と気温の低下（冷氣層の形成）が見られたということだが、解析値では、冷氣層の形成がされていたのでしょうか？
- A 4 事例①では実況、メソ解析とも冷氣層の形成が確認できています。事例②、③についてはいずれも確認できませんでした。
- Q 5 解析されていた場合、冷氣層周辺で上昇流の形成など、対流雲の発達に寄与する現象は見られたのでしょうか？
- A 5 冷氣層は盆地の中で形成され、地形の効果も排除できないことから、周辺での上昇流の形成についてははっきりしていません。

No.9

「平成 27 年 7 月 22 日の大雨の事例解析（上野純一）」

Q 1 マルチセルができやすい着目点として、鉛直シアに注目しているが、その指標について説明してほしい。

A 1 「平成 26 年度予報技術研修テキスト P120」に以下のような記述がある。

6. 3 線状降水帯の形成と鉛直シアーとの関係

6. 3. 1 ストームに相対的なヘリシティ

バックビルディング型による積乱雲群（マルチセル型ストーム）の形成においては、鉛直方向での風速差（鉛直シアー）が重要となる。Yoshizaki and Seko(1994)は非静力学モデルを用いて数値シミュレーションを行い、適度の鉛直シアー（下層2.5km で風速差7.5m/s）を与えることで、4~5 個の積乱雲で構成されるマルチセル型ストームを再現した。Fovell and Ogura (1988)のように、より強い鉛直シアー（下層3.5km で風速差15m/s）を与えた場合、再現されるマルチセル型ストームを構成する積乱雲の数は1~2 個となり、鉛直シアーをなくすとストーム自体再現されなくなる。ただこれらの数値シミュレーションは2次元モデルの結果であり、第6.1 節で述べた風向が上空と下層で異なる（3 次元の環境場の）影響については分からない。

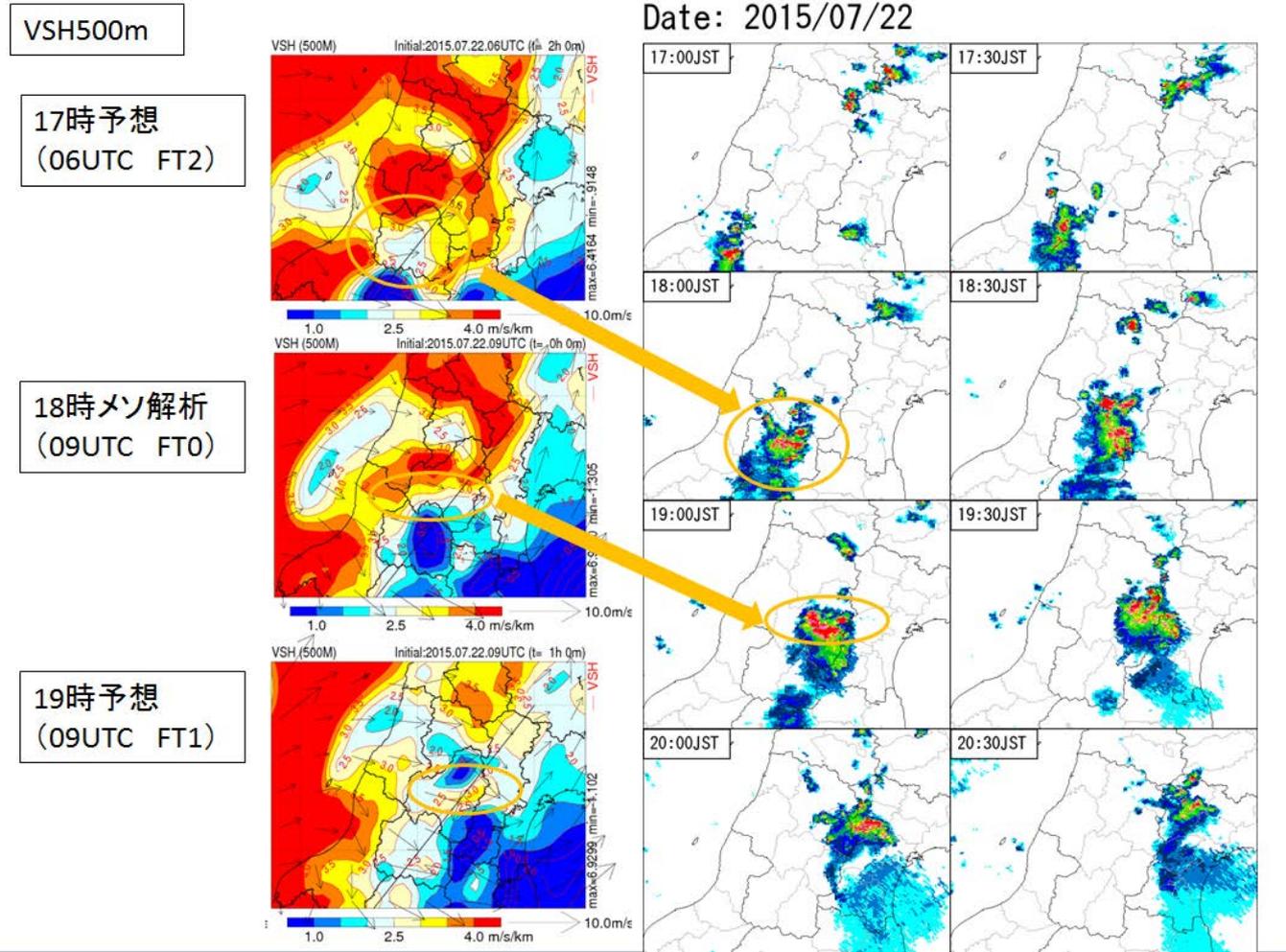
そこで、2.5km で 7.5m/s の鉛直シアーであるから $(7.5/2.5=)$ 3m/s/km 程度の鉛直シアーがマルチセル型の雷雲の発達に有効であろうと考え、予稿集の原稿では以下のように記述した。

「鉛直シアーは、3m/s/km 程度の値が強雨域で連続しており、マルチセル型ストームの発生しやすい場であったことが推測される。」

しかしこれは早合点で、研修テキストをよく読むと、これはあくまでも2次元モデルの数値シミュレーションの結果であり、3次元の環境場の影響については分からないとあるので、以下のように、見いだされた事実のみの記述に変更する（次ページ図参照）。

「平地部分で、鉛直シアーが、2~3.5m/s/km が解析・予想されたエリアと、その後1時間の、マルチセル型の雷雲が発達したエリアとの対応が良いように見える。」

メソ解析の解析・予想時間が1時間ごとと荒く、また、現象の発生・発達も2~3時間程度で終わっているため、鉛直シアーの指標としてどの程度の値をとるかを判断するには至らないが、数値シミュレーションで示された値3に近い値で今回の現象が起こったことは事実として記録できるのではないかと考える。また、今回使用しているのはWEB-Kplot（*1）のメソ解析のみであり、局地解析も参考にしたいところだが、LFM（2015/03/24以降）の描画要素からVSHがなくなっているため比較できない。



鉛直シアが 2~3.5m/s/km のエリアは、薄い水色から黄色のエリアである。

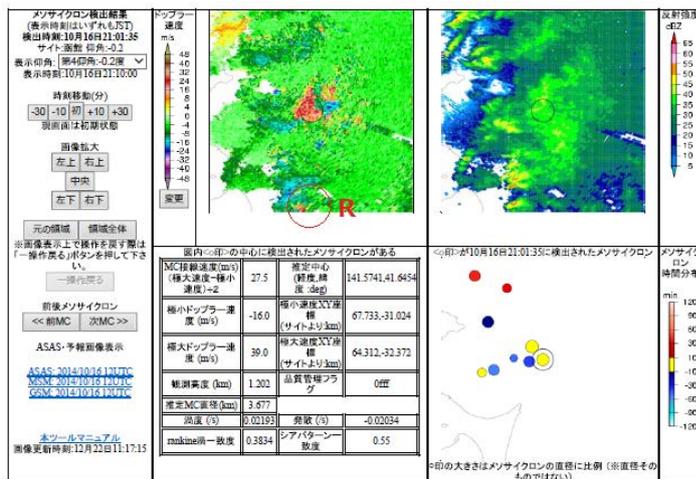
* 1 : WEB-Kplot とは、気象庁内で使用している GPV データの可視化ツールです。

No.10

「2014年10月16日東通村で発生した突風に関する調査（坂中仁）」

Q 1 函館レーダーの反射強度やドップラー速度でシーケンスデータの経過を見た場合や鉛直断面を見た場合、発雷や突風に対応する現象は捉えられているのでしょうか？

A 1 右図は函館レーダーでのメソサイクロン（MC）検出結果（21:01、1.18km）だが、メソサイクロンが検出されている下北半島沖では、ドップラーレーダで赤方偏移と青方偏移のコントラストが顕著にみられるものの、小田野沢付近では、それほど顕著ではない。レーダー反射強度では、小田野沢付近に線状の構造が海岸線に交差するようにみられ、これは指摘したように **tilting** 項の分布に類似しており興味深い。これらの状況からレーダー観測は小田野沢付近の突風のポテンシャルを捉えているように思われる。



Q 2 対象とする渦は、1km モデルできちんと再現ができていたのか？また、ドップラーレーダの観測などとの対応はどうであったか？

A 2 MC 付近での渦度は $0.02 (s^{-1})$ 程度となっており、1 kmモデルで再現されている $10^{-3} (s^{-1})$ の鉛直渦度のオーダーより 1桁大きい。この事実は一見 NHM 1 kmモデルでの本事例の再現度が不十分であるような印象を与えるが、(1) MC が判定された下北半島沖と小田野沢付近では、ドップラーレーダの観測が異なるようにみられ、突風のメカニズムや現象の性格自体が 2地点では異なるかもしれない事 (2) NHM 1 kmモデルでの小田野沢付近の強風は、竜巻のような鉛直渦度の集中域が生み出した同心円状の強風ではなく、**tilting** 項に関係した水平風の地上への短時間での降下によると推測される事、の2点から、鉛直渦の値が MC 付近と同様の値でなくとも NHM 1 kmモデルで本事例の小田野沢付近での突風のメカニズムを推測できるのではと考えている。原稿において、鉛直渦の運動を調べたのは、鉛直渦の変形が実際おこっていることを確認するためで、極端に集中した鉛直渦が直接局所的な被害をもたらしたとは考えていない*。**tilting** 項を生み出すような特徴的なシアを有した風速の一環として、海側からの水平風速の降下が発生したと推測した。

(*)もう一つの考え方として、図の海上 R 付近のドップラーレーダの若干のコントラストとモデルの SREH の大きな値を関連させる線があるかと思いますが、吟味していません。

Q 3 絶対渦度方程式にあらわれる水平移流項・鉛直移流項・ソレノイド項の寄与は調べられているか？

A 3 今回の考察ではこれらの項に関して考察はしていません。粘性項を無視したナビエーストークス方程式の回転をとった簡単な非圧縮流体の渦度方程式を利用しました（移流項に関しては影響していると思われませんが、tilting 項が突風関連領域と対応が良いことから、そちらに注目して、とりあえず考えませんでした）。

実は、別にオモチャ的な描像を考えていました。少し奇異な印象を与えるかもしれませんが、以下に私が妄想していたことを記します（当日用意してはいたが、説明しなかったスライドがありました）。

仮定① 今回の系を記述する方程式は渦に関係している。（下北半島沿岸には一次元的な正渦の配列）

仮定② 系を記述する方程式は、局在解を持つ。（局在した正渦域の下北半島に沿った北上がレーダー実況やモデルでみられる。）

これら 2 つの仮定を前提として、以下のような、オモチャ的な描像を思い浮かびました。

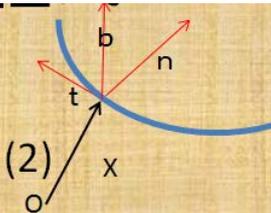
Frenet-Serretの式 + 局所誘導近似

$$t_s = \kappa n$$

$$n_s = -\kappa t + \tau b$$

$$b_s = -\tau n$$

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \kappa b \quad (1) \quad X_t = X_s \times X_{ss} \quad (2)$$



$X=(X,Y,Z)$: 渦線上の点

- ・渦糸の曲率半径 \geq 渦糸の太さ
- ・渦糸内の2点間の相関は有限

渦糸を取り扱う方法として、局所誘導近似というものがあり、上記式（1）が出発点の式となります。これを橋本変換と呼ばれる変換を用いて数学的に表現を置き換えると、有名な非線形シュレディンガー方程式（NLS）が得られます。

橋本変換:

$$\varphi = \kappa e^{i \int_0^s ds \tau} \quad N = (n + ib) e^{i \int_0^s ds \tau}$$

$$i\varphi_t + \varphi_{ss} + \frac{1}{2} |\varphi|^2 \varphi = 0$$

...NLS

NLS は次のような局在解を持つ (初等的な計算で導出可能、共動系で解を求めてから、ガリレイ変換でブーストする)。

$$\varphi = e^{i\omega t} \operatorname{sech}(\sqrt{\omega}(s - Vt) + \alpha) e^{i(\frac{V}{2}x - \frac{V^2}{4}t)}$$

$$\kappa^2 = |\varphi^2| = 1/\cosh^2(\sqrt{\omega}(x - Vt))$$

曲率が局在する並進するソリトンの解がある。

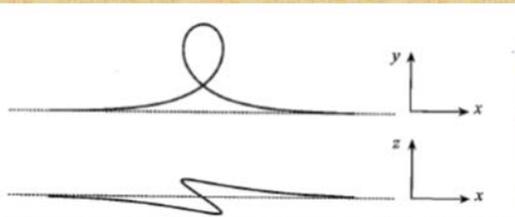
橋本変換の描像から元の位置座標へ戻ると、次のような渦糸の軌道が得られる

$\mathbf{X} = (x, y, z)$ の位置変数に戻ると、

$$\mathbf{X} = \left(s - \frac{2v}{v^2 + \tau^2} \tanh(v\xi), r \cos \theta, r \sin \theta \right)$$

$$\xi = s - ct, r = \frac{2v}{v^2 + \tau^2} \operatorname{sech}(v\xi), \theta = \tau s + (v^2 - \tau^2)t$$

時刻 $t=0$



$$v=1.0, \tau=0.2$$

v, τ の選択により交差しないような解もある。

(ここで交差しない解とは、パラメータを変えることで得られる、X方向と一対一対応するベル型のもの。)

ある論文で局所誘導近似を用いて解かれた渦糸のソリトン解の軌道の図を見つけました。

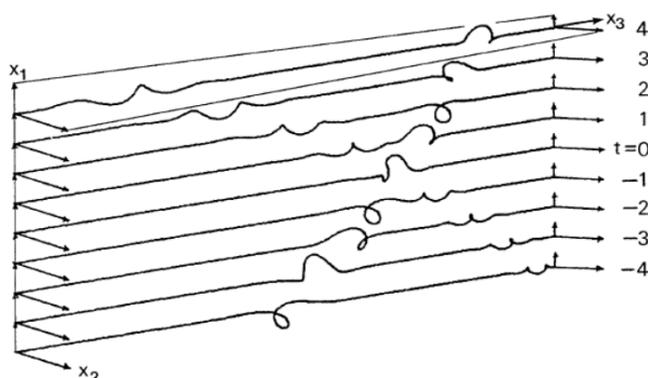


Fig. 1. Perspective views of a head-on collision sequence between two solitons. Time increases upwards from -4 to 4.

N-Solitons on a Curved Vortex Filament

Yasuhide FUKUMOTO and Takeshi MIYAZAKI¹

Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo,

Bunkyo-ku, Tokyo 113

¹National Institute for Environmental Studies, Yatsukabe, Itanaka

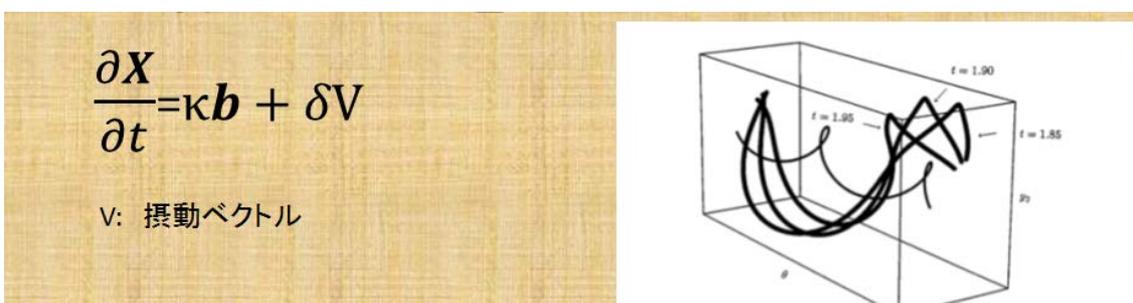
(Received September 29, 1986)

The motion of a thin vortex filament in an incompressible inviscid fluid is investigated theoretically, based on the localized induction equation. The N-soliton solution is given explicitly, using the bilinear equations obtained by Hirota. A detailed examination of the solution shows that two solitons with large lateral excursions suffer backward phase-shifts during a head-on collision. The present solution also generates the N-soliton solution of the classical 1-dim. continuous Heisenberg ferromagnet equation.

系に 2 つのソリトンが存在（かつ衝突）している解ですが、途中で渦糸の興味深い折れ曲がり形状が表現されています。このような折れ曲がり領域が小田野沢を短時間で通過した結果が突風かもしれません。

このような粗い描像（鷹揚に数学を応用した!?) が、今回の現象を適切に説明するとは思っていませんし、実は的外れだとも自覚しているのですが、私の頭を占めていたイメージは、よく気象学の本に書いてある絶対渦度方程式などではありませんでした（コリオリ因子の効果などは、共動系から回転座標系に移ることで取り込めるかもしれません）。

NLS 方程式で記述された渦の式には、Tilting 項など外場の効果がどこにもないと思われたかもしれませんが、局所誘導近似の出発点の式に摂動項 δV を加えることで、以下のように修正が可能のようです（式 7.21 : V の S 偏微分と t, N がカップルしている）。



so that the phase shift does not influence the geometry of integrate Eq. (7.18) and insert its result into Eq. (7.17) to obtain Schrödinger equation:

$$\left(\frac{1}{i}\right)\psi_t = \psi_{ss} + \frac{1}{2}|\psi|^2\psi - \delta \left\{ i[(N \cdot v_s)_s - \psi v_s \cdot t] + \psi \int_{s_0}^s \text{Im}(\psi \bar{N}) \cdot v_s d\bar{s} \right\}. \quad (7.21)$$

Figure 7.2. Time sequence of 3D plot of the filament curve showing the initial helix, followed by times just before, just at, and just after the peak in maximum stretch rate. Viewed from $\theta = 3, x_2 = 2, y_2 = 1$. Note the formation of the kink structure in the vortex filament.

摂動項として適当な項を加えた上での数値計算の結果。らせんから折れ曲がりを持った形状 (kink) が発生。

(A.J.Majda and A.L.Bertozzi, Vorticity and Incompressible Flow, Cambridge Univ)

NLS を用いた考え方の利点（と同時に明らかに欠点）は、外場と電子の散乱現象のように、抽象的に現象を想像できることかもしれません。

この取扱いには、ジェット的な渦管を表現できないなど他にも問題があり、現実の渦とは異なる点もあるようです（参考文献 3 には軸方向の流れを取り入れるための NLS の修正がなされている式 (12)。付加項 W が修正項で、興味深い形だが 3 回微分が入り難解になる）。

$$i\psi_t + \psi_{ss} + \frac{1}{2}|\psi|^2\psi - iW \left(\psi_{sss} + \frac{3}{2}|\psi|^2\psi_s \right) + c\psi = 0. \quad (12)$$

あと、乱流など揺らぎ的な早い変動を考慮した場合、NLS（や式 (12)）の係数などが補正を受けて、系の安定性や応答に影響するのかもしれませんが、この点も乱流などに疎い私には良くわからないところです。

A 3 のために、次の参考文献を参照しました。

橋本変換について

- (1) A.J.Majda and A.L.Bertozzi, 2001: *Vorticity and Incompressible Flow*, Cambridge University Press.

ソリトンの解について

- (2) Y. Fukumoto, T. Miyazaki, 1986: N - Solitons on a Thin Vortex Filament, *Journal of Physical Society of Japan*, Vol.55, No.12, 4152-4155.
- (3) Y. Fukumoto, T. Miyazaki, 1988: N - Solitons on a Curved Vortex Filament with Axial Flow, *Journal of Physical Society of Japan*, Vol.57, No.10, 3365-3370.

No.11

「高密度な観測網を用いた庄内平野の大雪検証（阿曾知子）」

- Q 1 大雪という観点では、冷気層の厚さも重要と考えるが、その厚さはどのくらいか？
- A 1 客観解析では、700m 程度の厚さを持った冷気層が丘陵側から沿岸部付近へ広がるにつれ、次第に層厚を低くしながら広がる様子が見られました(沿岸部では500m 程度)。過去の大雪事例調査でも沿岸部にある酒田 WPR の1層目に東風と静穏を捉えた事例がありました。NHM でも若干層厚は薄いものの、同様な傾向が見られました。
- Q 2 重力流に注目しているが、大雪の場所、時間、量のどれに一番大きな影響を与えているのか？
- A 2 Tモードの発達には、冷気層の面的な広がりだけでなく、層厚も考慮が必要だと考えます。NHM を用いた数値実験では、重力流は鉛直方向に冷気層を発達させる要因の1つとして大きな役割を担っています。冷気層の鉛直方向の発達が陸風の流速を強化させ、季節風との収束(≒上昇流)の強化に大きく寄与していたことから、結果として大雪の場所及び量に大きな影響を与えていると考えます。

No.12

「宮古の最高気温ワークシートの検証（その1）（秋元銀河）」

- Q 1 海風継続確率ガイダンスの試作について、風や気温のガイダンスを利用してロジスティック回帰により、85%を超える的中率で海風を判別できることですが、説明変数に GSM と MSM が混在している理由は？例えば、GSM と MSM でそれぞれ海風継続確率ガイダンスを作成し、精度を評価した方が効率的ではありませんか？
- A 1 海風継続確率ガイダンスの説明変数については、時間の都合上まだ十分に比較できていない変数もあるが、基本的にパフォーマンスが良かった組み合わせを選んでいく。総観場に違いがある場合もあるので、GSM/MSM 単独のガイダンスも検討したい。
- Q 2 日変化をとまなう海風には日射（日照）のような天気の条件が影響するので、説明変数に入り得るのではないか？
- A 2 日照、降水量、感雨等を説明変数に入れてテストをしたが、有効な改善は見られていない。恐らく変数として採用している「川井の気温ガイダンス」に日照を含めた包括的情報が含まれているものと予想している。

No.13

「横手の最低気温予想ワークシートの検証と改善（久慈文男）」

- Q 1 今回対象とされた大外し事例の中で、モデル自体(GSM・MSM 共に)が環境場の予測を大外ししている事例はありますか。もしそのような、事例があれば、そういった事例の特徴について教えて頂きたいと思います。
- モデル自体が大外ししている場合についての考察はいかが？
- A 1 両モデル共に気温予想を外している事例はありますが、新しいガイダンスになり、大外し日は大幅に減少傾向となっています。環境場の予測を大外ししている日も特定の場でと言うわけではありません。しいて挙げるとすれば、場の推移が非常に早い台風接近時などが考えられますが、新ガイダンスの検証材料が少ないため、その他の場の特定は出来ていません。今後の検討課題としたいと考えています。
- Q 2 調査結果の、現場への導入状況について説明してほしい。
- A 2 現場では、既にワークシートを利用しておりますが、ワークシートで導き出す予測値はあくまで気温予想のベースとなる値です。予報では、導き出した予測値に予報担当者の裁量を加味して発表しております。例えば、モデルの平均値を基本とするような場の時、予測資料や実況等からどちらかのモデルの予想に寄せて考える等は必要であると考えます。

No.14

「2013年5月13日の仙台山形の気温差について（岩場遊）」

Q 1 パラメータ変更による雲を増やす操作はここまでが限界で、その他にインパクトがあるものの評価についてはいかが？

A 1 SST を下げて感度実験を行った。2°C下げると仙台の気温は約 1°C下がり、より観測に近づいた。

また、気圧場とそれに伴う風の場の再現もインパクトがあると考えられる。

Q 2 地表面からの顕熱・潜熱フラックスも確認すべき。

A 2 流跡線に沿って海上では顕熱フラックスはほぼゼロで空気塊の温度と SST はほぼ等しかった。潜熱フラックスは計算時間を通して正だった。いずれも計算領域が狭く、計算時間も短いため変化は小さかった。

Q 3 部分凝結スキームを調整して下層雲量を増やすことができたようですが、どのくらいの高さの雲が増えたのでしょうか？

A 3 衛星画像から、実際は地表付近の層雲または霧のみであったことが分かるが、本研究では高度に関係なく雲を増やしたため、中層雲量、上層雲量も増えた。

No.15

「宮城県の西風暴風の予測手法改善に向けた調査（高野健志）」

- Q 1 調査対象とする事例について、山岳波は航空機の離着陸に影響を与えるので重要と考える。A,B,Cそれぞれの発現する要件を観測的に統計的に整理できれば大変面白い。これまで何か分かったことはありますか？
- A 1 これまでに行われてきた調査の多くは強風の発現機構を明らかにする目的のものが多く、その結果として山岳波に伴うおろし風という理解が定着しています。また、山岳波の特長から内部重力波と解釈し、スカラー数に着目した調査が多くなされています。さらに進んで山岳波の波長などの特徴を意識した統計調査はまだなされていないと認識しており、そのような調査は今後の課題と感じました。ただし、東部で強風となるのは日中が多く、西部で強風となるのは時間帯の影響が少ない、また、季節的には春に強風となる事例が多い事などは統計的に調べられており、発現する要件の一部として捉えることができます。
- また、航空機の離着陸に関わる現象ということで仙台航空測候所からも回答をいただきましたが、強風域の分布やその時間変化という観点よりも空港周辺の現象の振る舞いに着目することが多く、そのような知見は整理されていないということでした。
- Q 2 検証の際に、ひまわりの画像を用いて山岳波の”山”に発生する雲を利用することはできますか？
- A 2 ひまわりの画像で下層雲の波列が観測できれば、共鳴風下山岳波の発生およびその波長を知ることができる貴重な資料となります。以下に順を追って説明します。
- 山岳波の”山”が奥羽山脈の上空にあるものだけでは利用することは難しいです。一方、概念的な理解で言えば、山岳波の“山”が複数存在するのは共鳴風下山岳波が発生した場合で、原稿では図 3c および図 5f に該当します。また、着目すべき下層の山岳波の”山”が雲として可視化されるためには、下層の湿度がそれに適したものであるという条件も付きます。そのため、ひまわり画像を有効に使える事例は限られるかもしれませんが、観測されれば相対的に強風となりやすい地域を知ることができます。ただし、上層雲の波列では必ずしも下層の山岳波の特徴が分からないので、使えるのは下層雲の波列であることには注意が必要です。

No.16

「従来型観測のみを用いた日本域長期領域再解析システムの構築に向けて（福井真）」

- Q 1 メンバー数が 10 個だと少ないのではないか。もっとメンバー数を増やせば解析精度の向上も見込めるのではないかと思う。
- A 1 確かに今回のメンバー数については、最近の現業のアンサンブル同化/予報と比べても少ない。一般にメンバー数が増えればサンプリングエラーを減らせるので解析精度が上がるが、その分計算コストがかかる。長期再解析を目指すので、なるべくメンバー数を少なくして計算コストを抑えたいと考える。今後、メンバー数を増やした実験を行い、解析精度と計算コストを考えた最適なメンバー数を見極める必要がある。
- Q 2 各種パラメータ（メンバー数、共分散膨張係数、局所化半径など）の最適な値を知るには、まだまだ実験を行う必要があるのではないか？道のりは長いですが、着実に進めていくことが大事だと思う。
- A 2 仰るとおり、同化パラメータの最適化のための感度実験が、今後も必要である。特に、共分散膨張係数に関しては、今回 1.5 と大きめの値を設定したが、これは、小さな値ではスプレッドが過小となり観測を十分取り込めず解析精度が悪化してしまった実験結果を受けてのことである。ただし、観測の少ない地域ではスプレッド過剰となってしまう。側面境界摂動を導入していないことがこのジレンマの一因であり、側面境界摂動の導入と併せ、最適化を検討する必要がある。

No.17

「特定温位面以下の寒気の蓄積と放出（菅野湧貴）」

Q 1 45° N の寒気蓄積タイミングが違っているようだがいかがか？

A 1 45° N 以北の寒気質量は寒気流出ピークの約 2 日前までゆっくりと増加し、寒気流出が終わったタイミング（ピークの約 3 日後）から回復し始める。

No.18

「東北地方の雲量と全天日射量の推移についての継続調査（佐々木駿）」

- Q 1 雲量について、目視観測による種別（上層雲と下層雲の区別等）の扱いはいかが？
- A 1 目視観測による種別を考慮することは、上中層雲ごとに異なる放射特性を切り分ける上で非常に重要であると考えていますが、今回使用したデータベース（パンドラ）ではそういった項目ごとに分別してデータを取得することが出来ませんでした。そのため、今回の調査では上・中・下層の総雲量のみを考えています。
- Q 2 東北地方で雲量が増えている理由をどう考えている？
- A 2 東北地方の雲量変化に特に大きな変動を及ぼす可能性があるものとしては、日本海の水温及び、中国大陸から供給されるエアロゾルの性質があるのではないかと考えています。日本海の水温は、サブハイの縁辺流が東北地方に到達するようになる梅雨末期から夏季にかけてと、冬季の北西流が卓越する場において特に下層雲の形成に大きな役割を果たします。また、秋～春にかけて中国大陸から供給されるエアロゾルは、黒色炭素系や二酸化硫黄系の成分が複雑に交じり合い、雲の寿命や雲粒の粒径分布を変化させることで、短波放射のみならず長波放射に影響を与えているものと考えられます。
- Q 3 気温は都市化の影響も強く受けています。また最低気温は寒地では除雪の体制変化に強く依存します。長期変動の解析には注意が必要です。
- A 3 ご指摘ありがとうございます。今回注目したのは「全天日射量を観測しているステーション」だったために、気温の解析も都市部のみを見ることとなりました。そのため、気温自体の値には都市化の影響が及んでいることは免れませんし、トレンドについても少なからずその効果が入り込んでいる可能性はあります。広い範囲を見ようとすると「日射量データ」が不足し、かといって日射量のみを考えると「面的分布」が保たれないという問題があります。それについては、**BSRN** のみならず、**SKYNET** や **AERONET** といった放射観測網、気象衛星のデータも使用して日射量の面的分布を維持しつつ、気温の面的分布を有効に活用して気温の長期トレンドを解析することを考えていくことが有効であると考えています。

No.19

「水産関係機関と連携した沿岸水温予測技術の開発（齊藤和幸）」

- Q 1 海藻だけでなく、魚介類の養殖へのニーズが生まれた場合、そのまま適用可能でしょうか？その場合、どの水深の水温が予測できるかがきいてくると考えられますが、いろいろな深さの水温の予測は可能でしょうか？（ μm オーダーから m オーダーまでの色々な深さ。プランクトンの発生の影響も考えられるので）
- A 1 地域や季節によって、条件は異なるが、精度が要望に沿えるものであれば適用可能と考える。MOVE/MRI.COM-WMP では、0.5m（海面）から 6000m 深まで 54 層での水温予測を求めており、上層ほど細かい間隔で予測しているので、ある程度は水深別の水温を予測することもできるかもしれないが、これも地域差や季節差があるので、個別に調べてみないとわからない。なお、 μm のオーダーでの予測は不可能。
- Q 2 商業ベースの情報となるのですが業務として問題ないのか？
- A 2 海洋情報の利活用方法を検討するために試験的に行った調査なので、問題ないと考えている。なお、今回の成果も踏まえて、部外ユーザが海洋情報を有効に活用できるような情報提供の方法を検討していきたい。
- Q 3 マーケティングのためのピンポイントでココ（ある場所）の気温の予想がほしい、とか求められても同様に対応するのか？
- A 3 今後の海洋情報の利活用方法を検討するにあたり有効であれば実施するかもしれないが、基本的には対応しない。

No.20

「岩手県大船渡市綾里における温室効果気体の変動と気象状況について（古積健太郎）」

Q 1 気温との関係は見ていますか？

A 1 気温との関係は見ていませんでした。CO₂、メタンともに生物起源の放出で気温の影響を受けている可能性はあると思います。（メタンは湿度も重要と考えられますが）

Q 2 その場での CO₂、CH₄の変化と後方流跡からみる放出源の話もあったがどちらがきくのか？

A 2 CO₂については、夏季に観測所周辺の植物の活動が活発化し、分単位、時間単位の細かな変化が見られることが多くなります。それ以外の季節の CO₂やメタンについてはある程度広範囲の移流や拡散の影響を受けての変化が基本的に効いていると考えられます。（ただし冬季でも細かな変動がある程度の頻度で見られます。今回取り上げた事例もそういった状況と考えています。）

No.21

「カナダ・チャーチルにおける大気中 CH₄濃度とその炭素・水素同位体比の変動(藤田遼)」

Q 1 大気輸送は考えなくてもよいのか？

A 1 大気輸送もちろん考慮する必要はある。本研究では、同位体を用いた CH₄起源の推定と合わせて、NOAA-HYSPLIT を用いた後方流跡線解析も行っており、その大気輸送経路の結果と同位体による CH₄起源推定結果を比較し、起源推定の妥当性も検証している。

Q 2 δD 、 $\delta^{13}C$ はどうやって起源を考えるのか？

A 2 大気中における δD 、 $\delta^{13}C$ の変動は、様々な δD 、 $\delta^{13}C$ を持った CH₄起源による寄与が重なって現れた変動であり、その観測結果のみからはどの起源が大気中 CH₄濃度変動へ直接寄与したかを一概に判断することはできない。ただ、CH₄の主要起源として大きく分類される微生物起源、化石燃料起源、バイオマス燃焼起源の 3 つ（それぞれ同位体比は先行研究結果から既知値として与える）により大気中 CH₄濃度変動が生じると考えた場合に（未知数 3 つ）、大気中の全 CH₄ (¹²CH₄、¹³CH₄、CH₃D らの合計)、¹³CH₄、CH₃D らそれぞれについて、質量保存側に基づいて収支式を立てて解くと（3 つの連立方程式）、各起源の CH₄濃度変動に対する寄与を解くことができる。（詳細は予稿参照）

Q 3 サンプルをとる高さが 50m でも 100m でもなく 60m である理由は何ですか？

A 3 詳しくは存じていないが、たまたまタワーの高さが 60m であつたぐらいで大きな理由はないはず。サンプリング地点に関する詳細は以下のサイトを参照

<http://gaw.empa.ch/gawsis/reports.asp?StationID=290>

Q 4 SF₆の観測・解析状況はいかが？

A 4 チャーチルにおける観測・解析状況という意味か？2007 年 4 月以降、観測については現在も継続中であり、解析についても今後行われる予定である。ただし、本研究では特に CH₄の変動に焦点を当てている。