

委10-3-1

# 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」 (GOSAT)成果中間報告並びに 「いぶき」後継機検討状況について

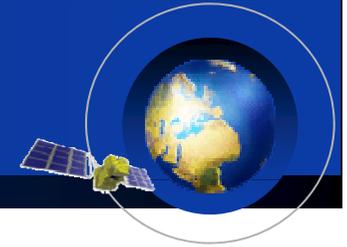


環境省  
国立環境研究所  
宇宙航空研究開発機構

平成24年3月21日



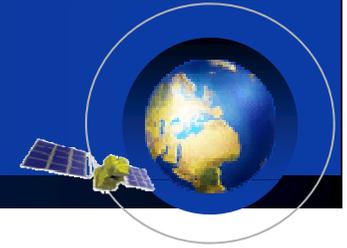
# 報告概要



温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)は2009年1月23日の打上げ以降3年に亘り校正検証を継続し、サクセスクライテリアを大きく凌駕する二酸化炭素及びメタン濃度算出精度を達成、さらに二酸化炭素の吸収排出量推定誤差を地上観測データのみから推定した値に対して最大で50%低減するに至った。

これらの成果により、温室効果ガス観測における衛星観測の有用性が示されるとともに、気候変動に関する政策への貢献に向け、より精度の高い二酸化炭素の吸収排出量推定が必要であることから、これを踏まえた「いぶき」後継機のミッション要求案を設定した。

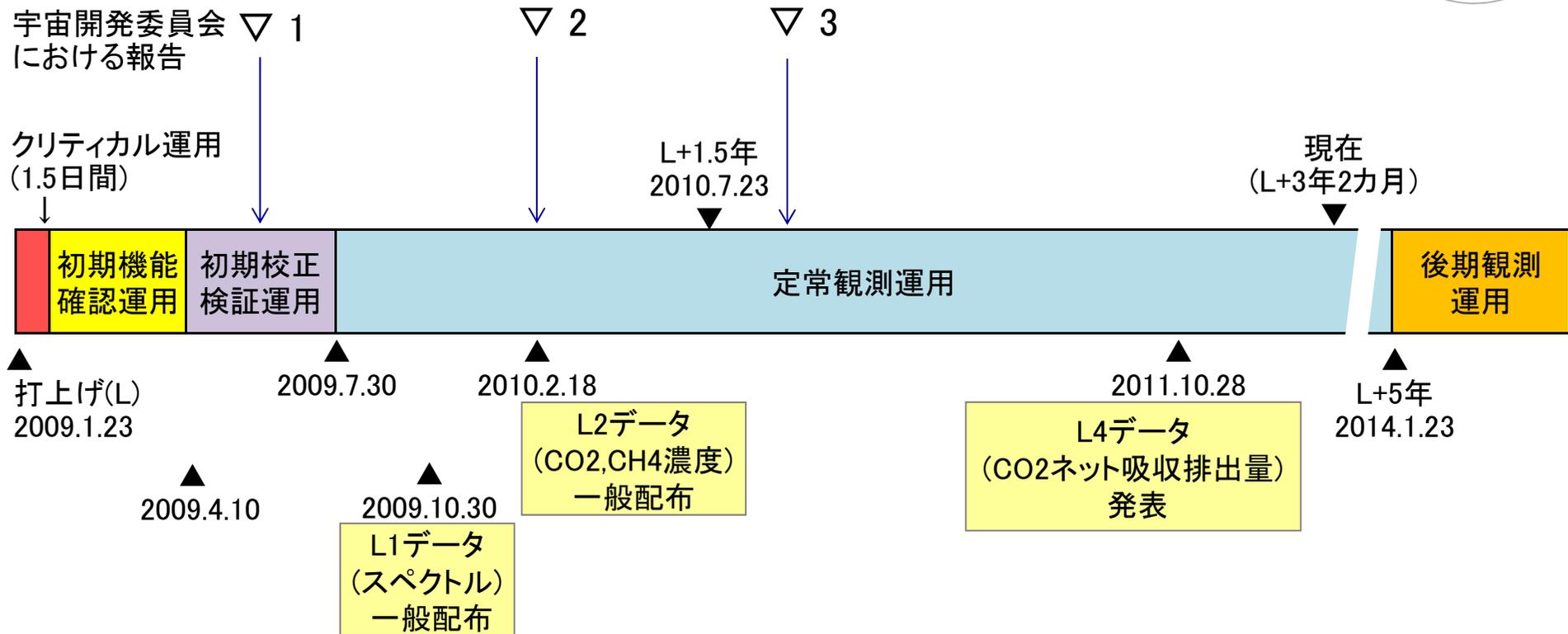
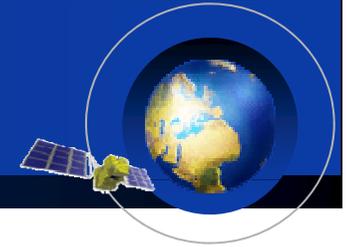
ミッション要求案に対する実現性については、これまでの検討により一定の目途を得るとともに、今後より詳細な検討並びにセンサの設計作業を実施予定である。



# 1. 「いぶき」の成果中間報告

# 1. 「いぶき」の成果中間報告

## (1) 経緯

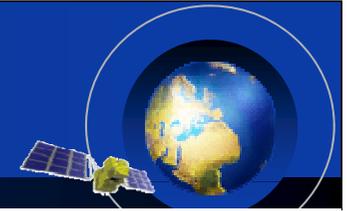


### 宇宙開発委員会 報告

- ▽1 : 2009年5月27日 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)の初解析結果について
- ▽2 : 2010年2月24日 「いぶき」(GOSAT)による観測データ解析結果の一般提供開始について
- ▽3 : 2010年10月13日 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)のサクセスクライテリア達成状況について

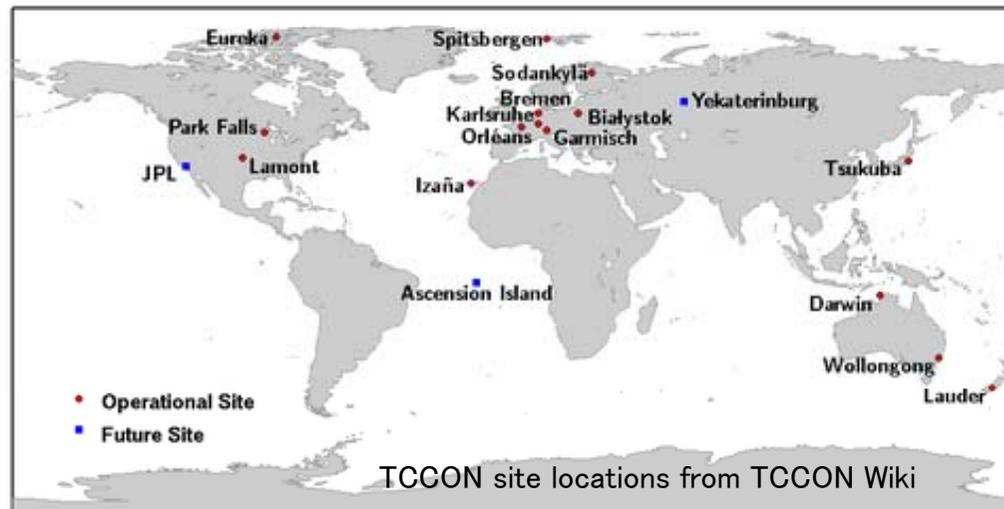
# 1. 「いぶき」の成果中間報告

## (2) 検証に基づくプロダクツ(濃度)の評価



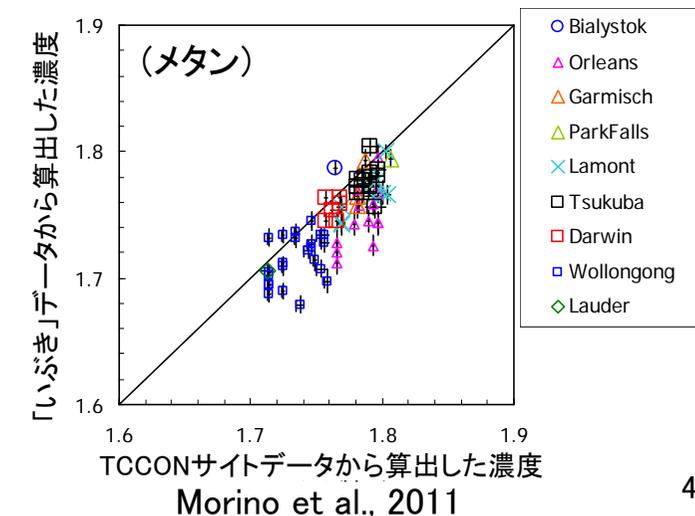
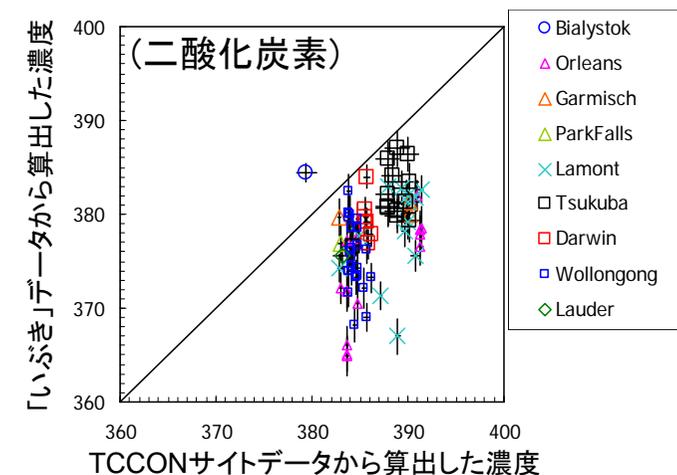
高精度フーリエ変換分光計を用いた地上観測ネットワークであるTCCON(Total Carbon Column Observing Network)サイトのデータ等を用いて二酸化炭素濃度並びにメタン濃度(L2プロダクト)の精度検証を実施, 以下の精度を得た。

| 項目                                 | 現状           | 改善見込み(2012.4)    |
|------------------------------------|--------------|------------------|
| ばらつき(相対精度)                         | 1.2%(約5ppm)  | 0.7%(約2.8ppm)以下  |
| [サクセスクリテリア基準]<br>1,000km四方3カ月平均で1% | 0.2~0.4%     | 0.1~0.2%         |
| バイアス                               | -2.3%(約9ppm) | -0.8%(約3.2ppm)以下 |



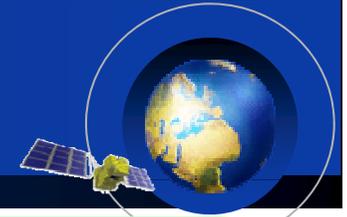
「いぶき」データから算出した濃度とTCCONサイトのデータから算出した濃度の比較

\*本データでは「いぶき」から算出した濃度はTCCONより10ppm程度低めに出ているが, 3ppm程度に改善見込み。

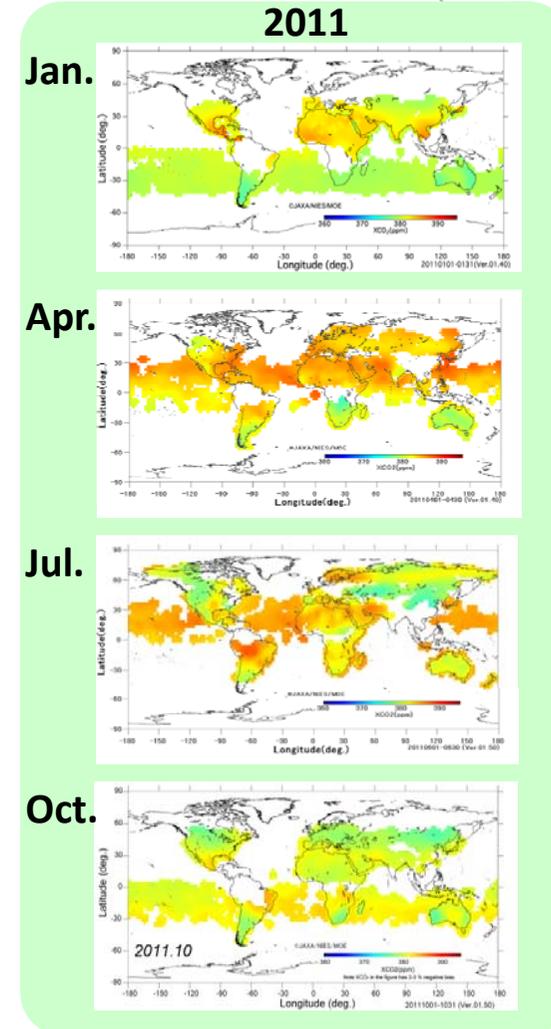
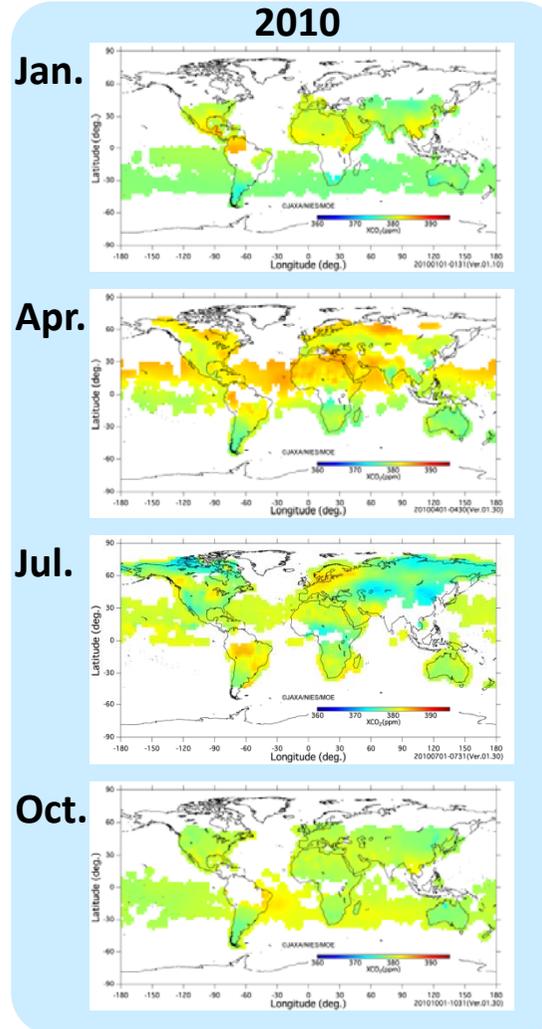
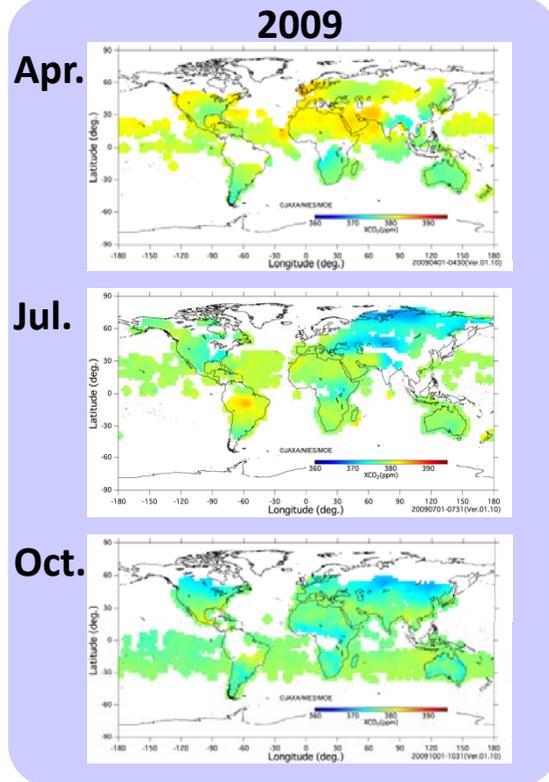


# 1. 「いぶき」の成果中間報告

## (3)月別平均濃度(二酸化炭素)



図は全て旧アルゴリズムによるデータを用いており、約9ppmのバイアスを持っている。2012年4月に新しい処理アルゴリズムに変更予定であり、バイアスは3ppm程度となる。

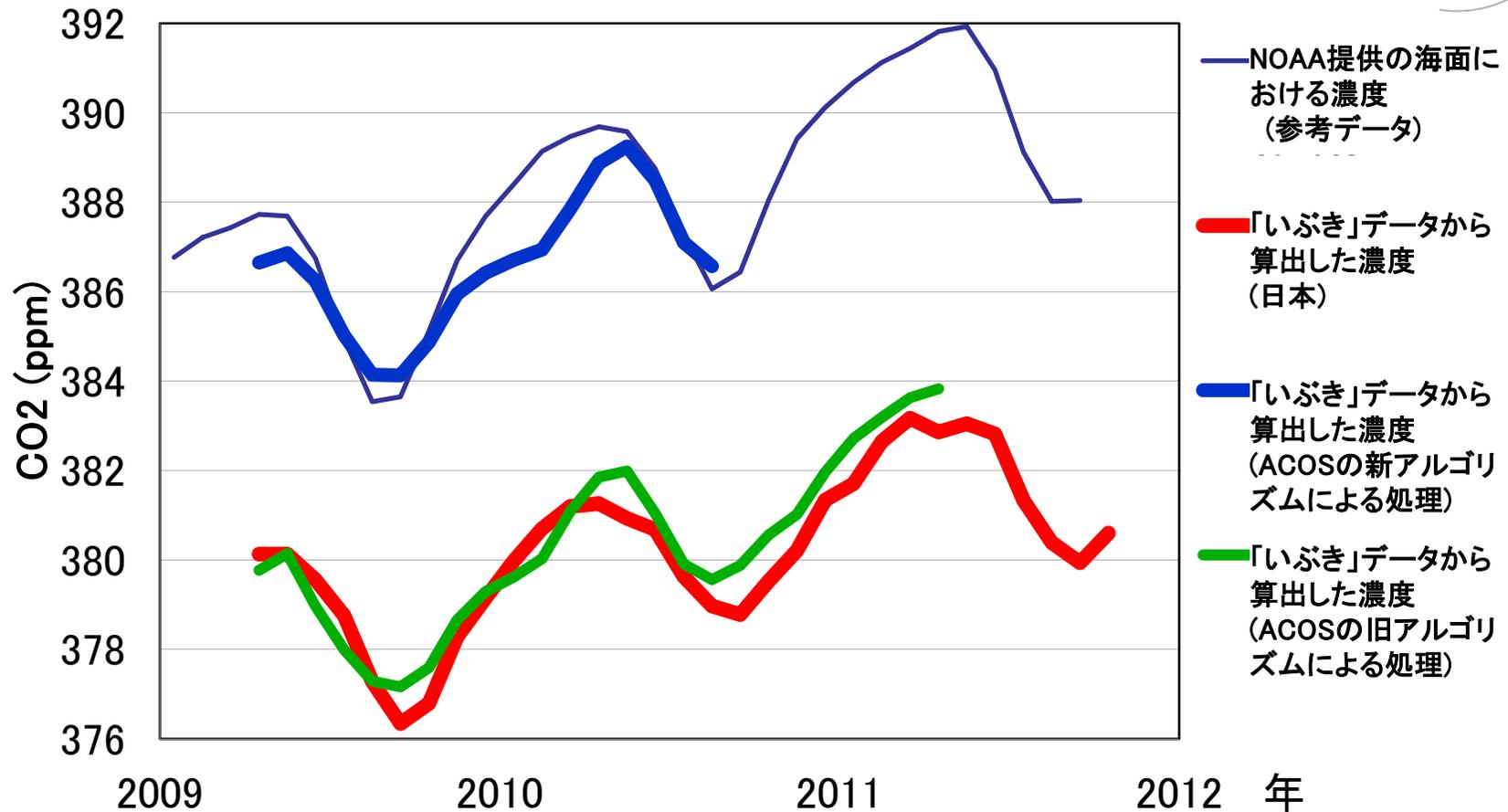
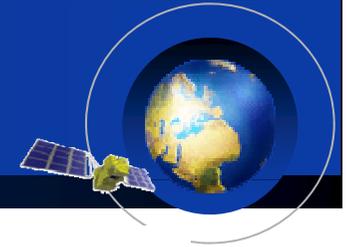


いずれの季節も年々増加している  
 様子が判る。

濃度年平均値 2009 : 379.0 ppm  
 2010 : 380.7 ppm

# 1. 「いぶき」の成果中間報告

## (3)月別平均濃度(二酸化炭素)

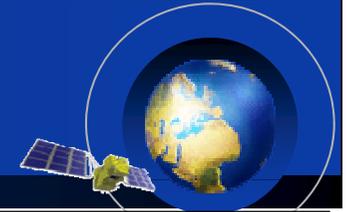


ACOS: Atmospheric CO<sub>2</sub> Observing from Space (NASA/JPLが組織した, 二酸化炭素に関する研究グループ)

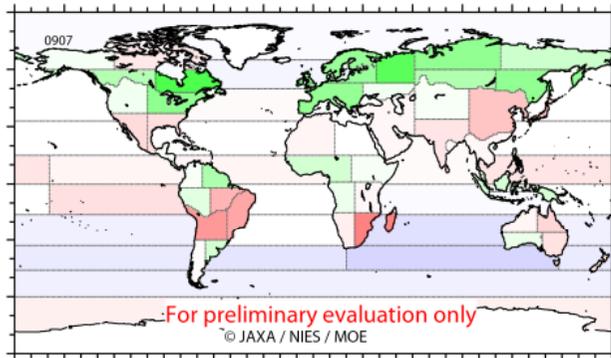
➡ 二酸化炭素濃度が季節変化をしながら, 年々2ppm程度増加している様子が判る。「いぶき」は全球平均かつ気柱量\*, NOAAデータは海面近くの濃度であるが良く似た傾向を示している。

\*気柱量: 単位面積あたりの鉛直気柱内に存在する気体の総量

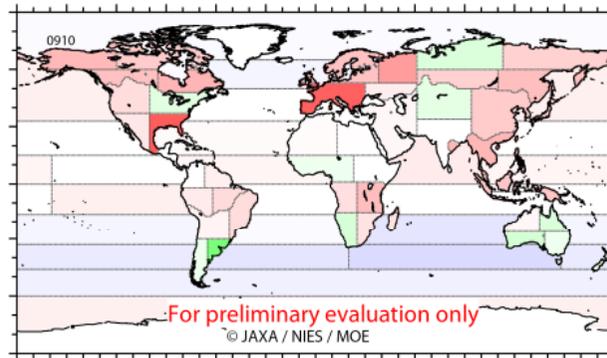
# 1. 「いぶき」の成果中間報告 (4) ネット吸収排出量推定



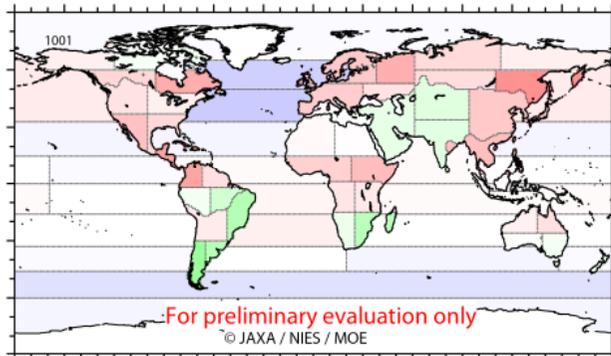
「いぶき」及び地上測定データによる全球64地域における  
二酸化炭素吸収排出量分布



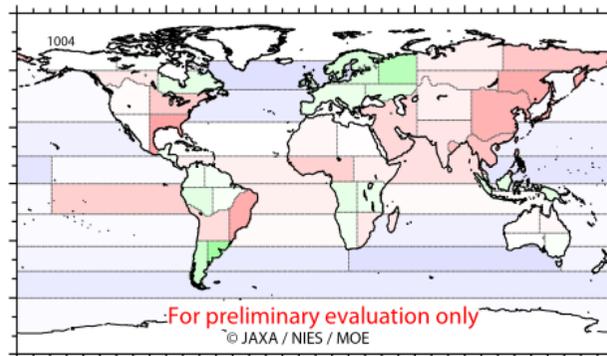
平成21年7月



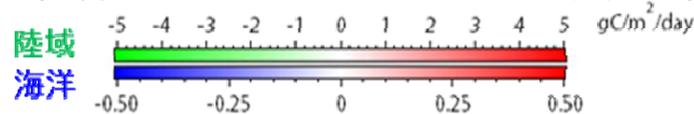
平成21年10月



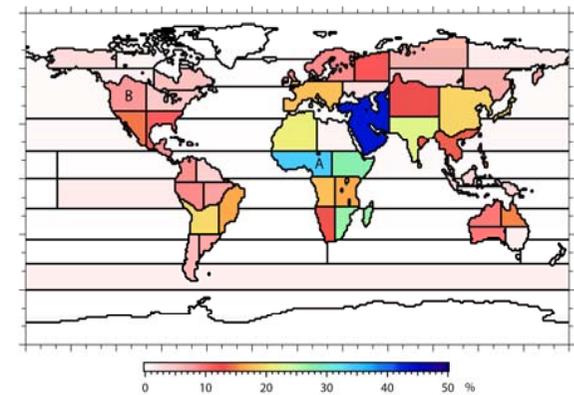
平成22年1月



平成22年4月



ネット吸収排出量推定誤差低減率



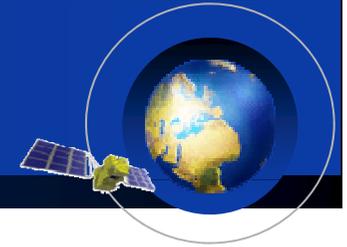
地上測定データに「いぶき」観測データを加えたことによる、全球の64領域における二酸化炭素ネット吸収排出量の誤差低減率(%)の年平均値。(2009.6~2010.5)

➡ ■ 従来の地上データのみから推定したネット吸収排出量推定誤差を一部地域について半減できた。

\*ネット吸収排出量(ネットフラックス): 二酸化炭素の吸収量と排出量の差。”+”の場合は排出量が吸収量よりも多いことを示す。

# 1. 「いぶき」の成果中間報告

## (5)他機関における利用



下記機関において、利用が進められている。

### ①気象庁

世界気象機関(WMO)の事業の一環として気象庁が運営している温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)へのデータ登録に向けてデータの信頼性評価中。

\*WDCGG: 世界気象機関(WMO)の全球大気監視(GAW)プログラムの下に設立され、大気や海洋で測定された温室効果ガス(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CFCs(フロンガス類), N<sub>2</sub>O, 地上オゾンなど)と関連するガス(CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC(揮発性有機化合物)など)のデータを収集、管理、提供(WDCGGウェブサイトより) 2012年3月9日時点で337か所のデータを登録。「いぶき」データを登録することで、データの増加が見込まれる。

### ②ECMWF(ヨーロッパ中期気象予報センター)

気象予報業務に取り込むため、「いぶき」データのバイアス等の特性を評価中。  
予報精度の向上が見込まれる。

### ③EUMETSAT(ヨーロッパ気象衛星開発機構)

EUMETSATが運用する極軌道周回気象衛星プログラムMetOp (The Meteorological Operational satellite programme)などの衛星データとともに、「いぶき」データの提供を検討中。

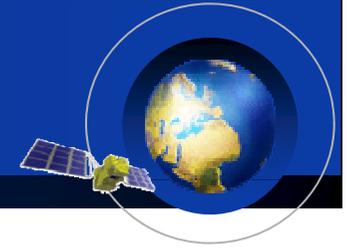
### ④IPCC

第5次評価報告書(AR5; 2014年予定)において、2012年7月までに投稿された論文が利用される。  
AR5への採用を目指して、国内外の研究者が「いぶき」データを使用した論文を投稿または投稿予定。

また、2011年12月に南アフリカにて開催されたUNFCCC\*のCOP17\*\*において、「いぶき」のデータから作成した濃度分布図並びにネット吸収排出量の分布図をポスター展示。多くの人に興味を持って見ている。

\* UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change 気候変動枠組み条約

\*\* COP17: The 17th Conference of the Parties 第17回気候変動枠組締約国会合

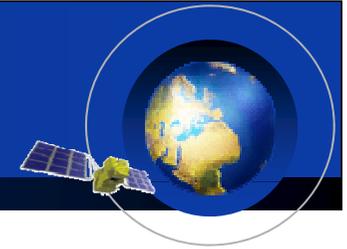


## 2. 「いぶき」後継機ミッション要求

「いぶき」後継機の必要性と期待される効果については、  
環境省・国立環境研究所より「委10-3-2」にて別途報告

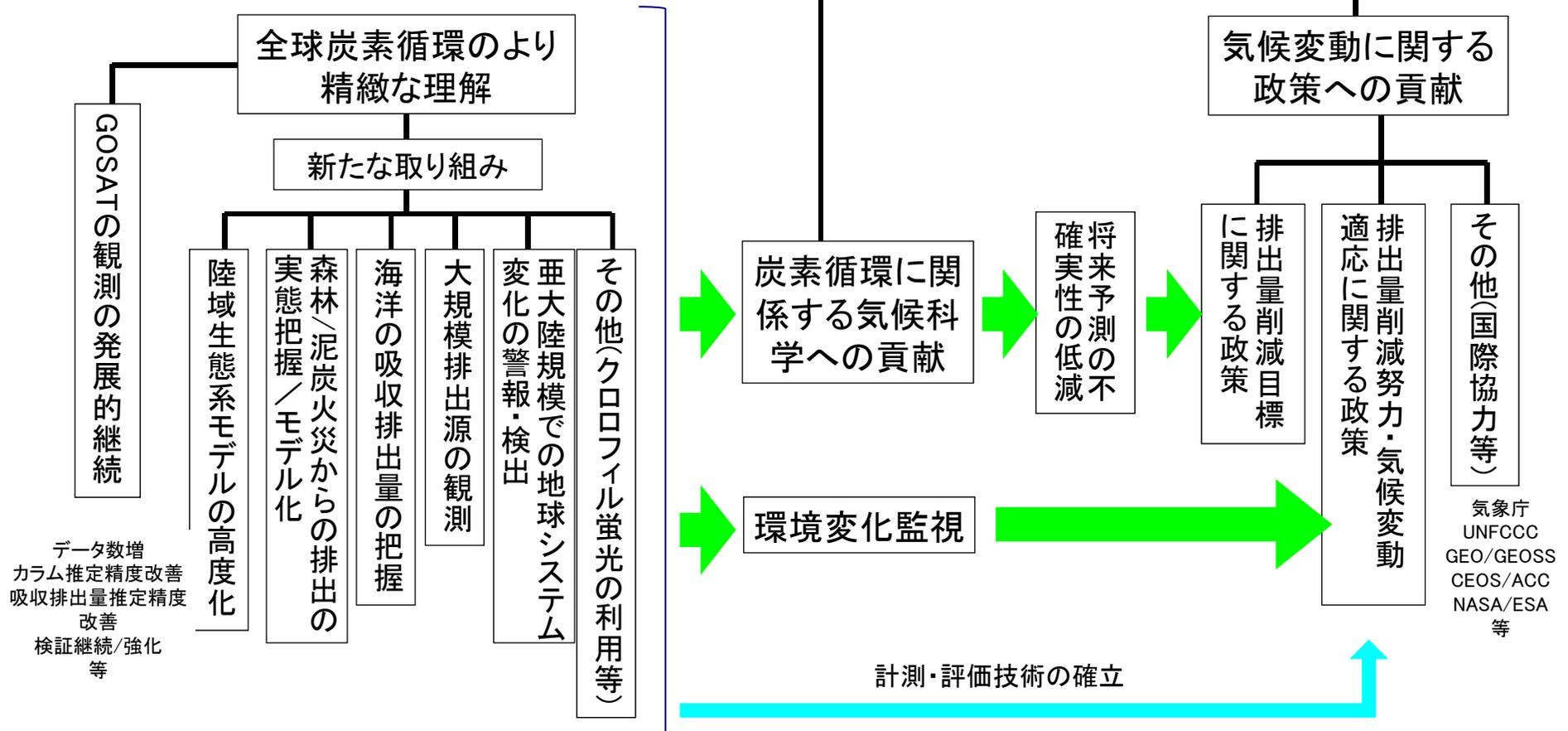
# 「いぶき」後継機ミッション要求

## (1) ミッション要求



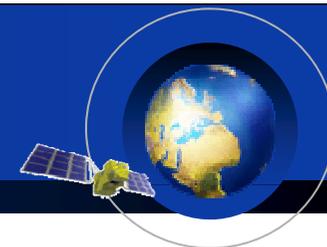
### ミッション要求

GOSATの観測をデータ数を飛躍的に増やしつつ継続するとともに、気候変動と人為的要因等が炭素循環に与える影響を観測することにより、全球の炭素循環をより精緻に理解し、気候科学及び気候変動に関する政策に貢献すること



# 「いぶき」後継機ミッション要求

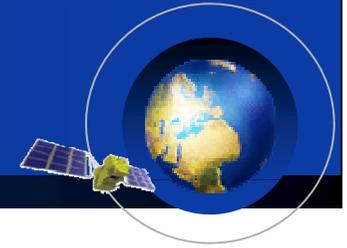
## (2) 「いぶき」からの主な機能性能向上点



ミッション要求達成に当たっては有効データ数の大幅な増加や新しい観測波長が必要であり、「いぶき」から主に下記のような機能性能向上のための技術開発が必要である。これらについて、現在試作試験による評価を実施中。

| 要求機能                    | GOSATからの向上                | ハードウェアにおける対応  |
|-------------------------|---------------------------|---------------|
| ①有効観測データ数の増加            | 視野の縮小                     | 光学設計と検出器サイズ   |
|                         | 複数視野                      | 複数素子検出器       |
|                         | S/Nの向上                    | 口径拡大          |
|                         | 観測帯域最適化(狭帯域化)             | フィルタの再設計      |
|                         | エアロソル*観測性能向上              | 紫外域の狭帯域化と多波長化 |
| ②CO, NO <sub>2</sub> 観測 | 観測波長の追加(CO)               | フィルタと検出器の追加   |
|                         | 高波長分解能化(NO <sub>2</sub> ) | 紫外域の狭帯域化と多波長化 |
| ③植生の蛍光観測                | 観測波長の追加(蛍光)               | フィルタと検出器の追加   |

\*エアロソル: 気体中に浮遊している固体や液体の微細な粒子。



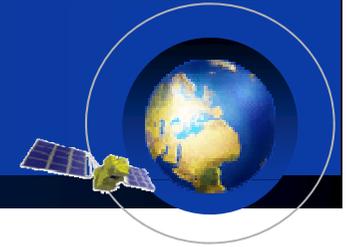
### 3. 「いぶき」後継機今後の進め方

### 3. 「いぶき」後継機今後の進め方

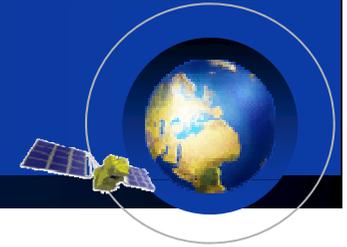


- 環境省-国環研-JAXAの三者は、今後も継続的に気候変動に係る科学的知見の提供を一義的な目的として、「いぶき」後継機の計画を共同で進める。分担については「いぶき」を基本としつつ、必要に応じて修正を図る。
  - ・衛星システム：JAXA/文部科学省
  - ・センサ：JAXA/文部科学省，環境省
  - ・データ解析・処理：国立環境研究所
- 2012年度は，環境省にてセンサ設計に着手する。JAXAでは衛星システム要求検討の準備を進め，適切な時期に開発研究に移行する。また，全球地球観測システム(GEOSS)の構築に向けた我が国の貢献を継続するため，「平成24年度の我が国における地球観測の実施方針(文部科学省地球観測推進部会)」を踏まえ，文部科学省と協力し衛星システム開発に向けた準備を進める。

### 3. 「いぶき」後継機今後の進め方



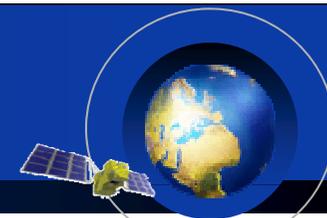
- 今後打上げが予定されているOCO-2, CarbonSatなど諸外国の衛星とデータ相互校正・検証、共同観測やデータの共有等の連携を行う観測連携プラットフォーム構築に向け国際協力を強化する。
  - 日米連携については、本年1月に開催の日米宇宙政策協議において提案、アクションアイテムとして整理された。今後は欧州(ESA)も交えた調整を進める
  - UNFCCCにも我が国からのサブミッション(2012年3月14日)として以下のように国際連携を提案: As the satellite observations are also under planning in Europe and America, it may be possible to set up the international cooperation on data calibration and its analysis in the future. In the dialogue, it is, therefore, expected to discuss possible contribution to the UNFCCC through data from outer space which reveals the net emission by countries.
- 政策決定プロセスへの貢献強化
  - 地域別吸収・排出量算出の精度向上, REDD+への貢献
  - 「いぶき」及び「いぶき」後継機から得られた成果や知見を定期的に政策決定者向け報告書にまとめ, UNFCCC等の場を活用してインプットする。



## 参考資料

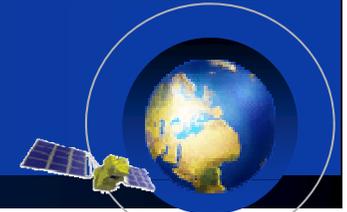
「いぶき」後継機ミッション要求案詳細  
「いぶき」データの新たな利用

# 「いぶき」後継機ミッション要求案詳細



| ミッション要求  | GOSATでの目標   | 後継機での目標   | 最終目標  |
|--|---|---|---|
| <b>・将来予測の不確実性の低減</b><br>大気中温室効果ガス濃度の将来予測の不確実性を低減させ、温室効果ガス排出量削減目標の科学的根拠を提供する。           | 陸域1,000kmメッシュ、3カ月平均で4ppmの精度で濃度を算出する。  | 陸域500km、海域2,000kmメッシュ、1カ月平均で0.5ppmの精度で濃度を算出する。  | 下記目標に必要な精度のデータを提供する。  |
|  | 亜大陸レベルでのネット吸収排出量の算出誤差を地上観測データのみの場合と比較して半減する。                                  | 陸域1,000km、海域4,000kmメッシュで、±100%の精度でネット吸収排出量を算出する。  | 100kmメッシュ(TBD)で、±10%(TBD)の精度でネット吸収排出量を月ごとに算出し、将来予測の修正に貢献する。                               |
|  | 陸域生態系モデルの高度化による自然排出量推定精度向上の検討・評価  | 陸域生態系モデルの高度化による自然排出量推定精度向上  | 陸域生態系モデルによる必要精度での自然排出量推定  |
| <b>・温室効果ガス排出量の監視</b><br>国際的な排出削減努力の全球的、亜大陸規模、主要排出国規模でのモニタリングデータを国際社会に提供する。             |   | ・相関物質(CO, NO2)による人為排出量算出の可能性について検討を行う。<br>・陸域生態系モデルの高度化による自然排出量推定精度向上   | 国別人為排出量を把握する。   |
| <b>・亜大陸規模での地球システム変化の警報・検出</b><br>北方寒帯林、アマゾン熱帯林、永久凍土地帯におけるシステム変化を早期警報又は検出するためのデータを提供する。 | 北方寒帯林、アマゾン熱帯林、永久凍土地帯におけるCO2濃度及びCH4濃度の月間、季節間、年間変動の精度向上の制約要因の同定及びその他の精度向上の検討・評価 | ・北方寒帯林(ユーラシア、アラスカ、カナダ)、アマゾン熱帯林、永久凍土地帯(シベリア・アラスカ)等において500kmメッシュ、1ヶ月平均で2.5ppmの精度でCO2濃度を、25ppbの精度でCH4濃度を算出する。<br>・地上観測、航空機観測による検証・データ同化、陸域生態系モデルでの推定により、1000kmメッシュで±100%の精度でネット吸収排出量を算出する。 | 亜大陸規模での地球システムの変化の早期警報・検出をする。  |
| <b>・REDD+への貢献</b><br>REDD+の効果をストックではなく、フラックスにより把握できるようにするためのデータを国際社会に提供する。             | データの評価を行い、フラックス把握において貢献を行う。   | REDD+の効果を定量的にフラックスにより把握できることを検証する。  | 主要な発展途上国のうち森林率の高い国の森林域において年ごとに(TBD)kmメッシュで±(TBD)%の精度でネット吸収排出量を算出し、REDD+におけるMRVにデータを提供できる。 |
| <b>・大規模排出源モニタ</b><br>都市域、工場等並びに森林／泥炭火災などの大規模排出源の排出量モニタを実施し、排出量抑制などに資する。                | 大規模排出源からの排出検出に必要なハードウェア仕様について検討を行う。   | 衛星からの大規模排出源からの排出量モニタについて、他方式との比較などにより、有効性検討を行う。   | 未知の大規模排出源を検出し、既知のものを含め排出量をモニタする。  |

# 「いぶき」データの新たな利用

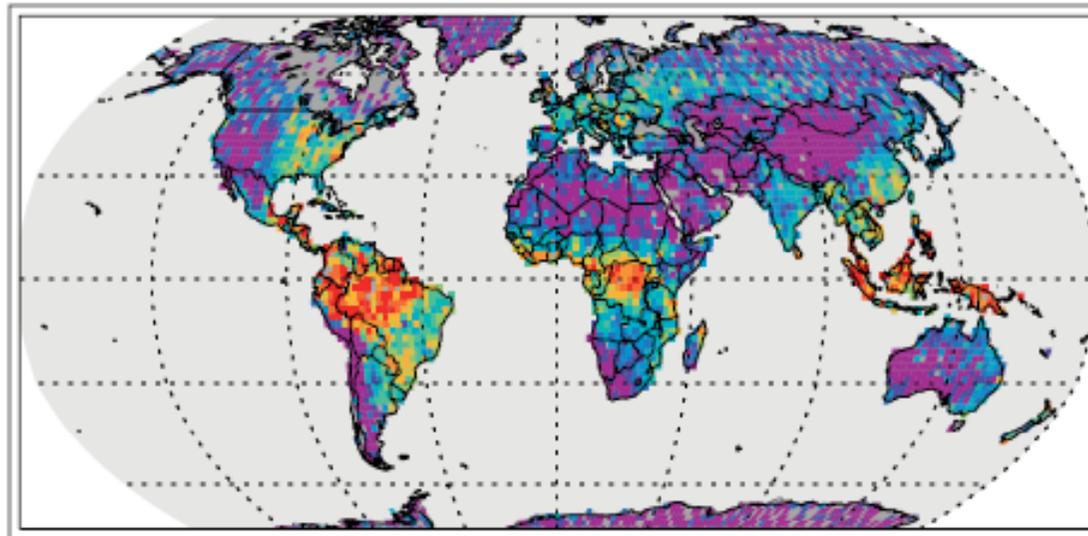


「いぶき」により世界で最初に宇宙から観測されたクロロフィル蛍光(米NASA GSFC・JPL, 英オックスフォード大)

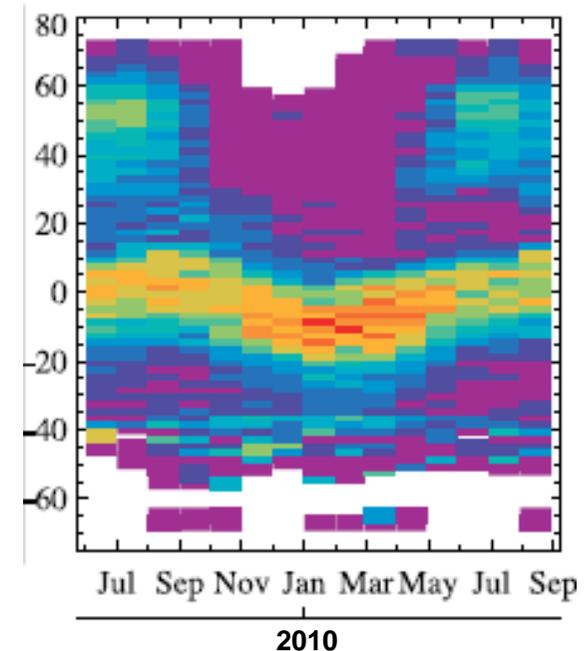
全球の詳細なクロロフィル蛍光マップを初めて作成, 従来の衛星観測では得られなかった季節変化を定量的に測定することに成功した。植物が光合成時に発する蛍光と光合成量の関係を利用することで, 蛍光は植物活性度に対する直接の指標になる。「いぶき」は近赤外波長に高い分光分解能を有し, 太陽光の散乱光と植物の蛍光を識別できる唯一の衛星であり, 蛍光の観測を初めて可能にした。従来の衛星からの植物活性度の判定は緑色の濃さと太陽照射量から間接的に推定していたが, 緑色でも光合成が行われていないケースもあり, 色は光合成量の直接的な指標とはならない。

(「いぶき」データから植物活性度を把握する新手法を開発, 同手法が地球の炭素循環研究の新たな道を切り開くことになる(NASA発表))

- ・ 「Biogeosciences」誌(2011年)(GSFC)
- ・ 「Geophysical Research Letters」誌(2011年)(JPL)
- ・ 「Remote Sensing of Environment」誌(2012年)(オックスフォード大)



0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3  
2009年6月～2010年5月のクロロフィル蛍光の年平均輝度分布 (Wm<sup>-2</sup>μm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>)



2010  
クロロフィル蛍光輝度の月別緯度別平均値  
(カラースケールは左図と同じ)

\* 従来の推定値よりも, 両半球とも夏期の光合成量が多いこと, ピークが後ろの時期にずれている事が判った。