CloudSat データの自動映像制作

関連動画
公開中!

鈴木 繁†

キーワード: クラウドサット, クラウドプロファイリングレーダー, ハリケーン

1. まえがき

現在の天気予報では, 気温や湿度など地上で観測されるデータだけでなく, 静止衛星から撮影される画像を活用し, ハリケーンや台風の接近の予測に大きな役目を果たしている。しかし, 衛星からの画像だけでは, その雲の中がどうなっているのかを知ることはできない。そこで, 雲の内部の様子を観測している CloudSat 衛星からの “quicklook” データと, 静止衛星から撮影された赤外線画像を組合せ, 判りやすいアニメーションを自動的に映像化するシステムを構築した¹⁾。CloudSat 衛星がハリケーンや台風など雲の上を通過した際には, 自動化された手順により, 得られたデータを用いて即座にアニメーションを作成している。

2012年10月にアメリカ東海岸を襲って大きな被害を出したハリケーン “Sandy” の画像化を例に, このアニメーション作成の仕組みについて説明する。

2. CloudSat による観測

CloudSat は NASA の地球観測ミッション “A-Train” のメンバーとして, 2006年4月28日にアメリカ・カリフォルニア州のヴァンデンベルグ空軍基地より打ち上げられた。CloudSat 衛星の目的は, 雲を構成する水分と氷の断面構造の詳細な観測である。衛星に搭載された Cloud Profiling Radar (CPR) から地表に向かってパルスを照射する。反射波の強度は水分粒子の大きさと密度に相関関係があるので, CPR の観測から雲の層の暑さ, 雲頂と雲底の高度, および雲に含まれる水分や氷の様子がわかる²⁾。

CloudSat 衛星に搭載された CPR により観測されたデータは, アメリカ空軍の通信網を経由してコロラド州立大学のデータセンターに送られ, 処理されたデータは “quicklook” データとして, 数時間後には CloudSat のウェブページで公

開されている³⁾。

3. アニメーションの作成手順

3.1 データの説明

CloudSat のデータで検索やアニメーション制作に使われるデータは, “quicklook” と呼ばれる, 大気中の水分分布をカラーマップで色付けした画像である。A-Train を構成する衛星は約90分で地球を一周し, CloudSat の1日分の観測データは同じ directory に保存されている。図1は, 2012年10月にハリケーン “Sandy” の上を通過した軌道を示す。

図2は図1の中で, “Sandy” を観測した19番と20番の部分を繋ぎ合わせた画像である。

3.2 アニメーションの作成

アニメーションを作成するために, 図1で示される検索範囲の中に, 水分データが比較的大きい部分がないか “quicklook” 画像を検索する。このアルゴリズムでは,

図1 2012年10月29日のCloudSat軌道
ベネズエラからカナダのオンタリオ州へ通過中にハリケーン “Sandy” の上を通過した。黄色い枠は, ハリケーンを検索するエリア。

†カリフォルニア工科大学 ジェット推進研究所 (JPL)
"Automated Movie Production of CloudSat Data" by Shigeru Suzuki (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, USA)

図2 ハリケーン“Sandy”上空からCPRにより観測された反射率データの画像(quicklook)

quicklookでの反射率が一定の閾値以上のすべての領域についてアニメーション制作を開始する。

アニメーション制作の手順は次の通りである。

- (1) 大きな雲を見つけてアニメーションを作成するための、データの検索時間範囲を設定
- (2) 検索時間範囲をカバーする、CloudSat衛星の軌道情報のTwo-Line Element (TLE) ファイルをダウンロード
- (3) ダウンロードした軌道情報を用い、CloudSatがハリケーンや台風の予測されるエリア(図1)を通過した時間を算定
- (4) 算出された通過時間の間にCloudSatによって観測された“quicklook”データをダウンロード
- (5) ダウンロードしたデータの中から、大きな雲のデータと思われる部分を抽出
- (6) この雲の観測開始時刻、観測終了時刻、およびその中間の時刻を、データの時間情報から算出
- (7) 中間地点の時刻を軌道情報に照らし合わせ、雲の緯度と経度を計算
- (8) 計算された雲の緯度・経度をカバーし、赤道上の軌道から雲の動きを観測しているGOES気象衛星により観測時間の前後1時間以内に撮影された赤外線画像の中で最も高解像度の画像をダウンロード
- (9) 雲の中間地点の緯度・経度を中心に、GOESからの赤外線スペクトラム画像を円形に切り抜く
- (10) この画像の画素の輝度を雲の高さに換算し、雲頂を繋ぐ3次元形状を作成
- (11) この雲が観測される直近72時間の、3時間おきに撮影された地球全体の画像をダウンロード
- (12) カメラの動きを計算
- (13) アニメーションをレンダリング
- (14) レンダリングされたフレームに、日付と時間、凡例を付加したアニメーションファイルを作成
- (15) 観測時間や位置などの付属情報と、サイズの小さなアニメーションファイルを添付したメールを関係者に送付

プログラムを起動させると、指定した時刻のデータ全部をチェックするまで(2)～(15)の手順を繰り返す。

一連の手順の中で、主要な部分を次に詳しく説明する。

3.3 CloudSat軌道の計算

CloudSatプロジェクトは、軌道の情報をTLEという形式

でウェブ上に公開している。このTLEデータを使って緯度経度で指定された範囲を通過する際の軌道情報を得ることができる。このTLEデータを使った軌道計算には、JPLで開発されたNAIF SPICE Toolkit⁴⁾を用い、ある時間の衛星の位置(緯度、経度、高度)を正確に計算することができる。

3.4 CloudSatのquicklook画像

CloudSat衛星が、指定した検索エリア上の軌道を通過したことが計算されたら、エリアの通過開始時間からエリアを出るまでの間の“quicklook”画像を次々とダウンロードしてつなぎ合わせる。次にこの画像の高さ方向に各ピクセルの値を積算し、一定以上の値であれば雲の一部であるとし、この状態が時間方向に連続すれば、大きな雲を検知しているとする。雲の状態検知の開始時刻、終了時刻、および中間の時刻は、データの時間情報から得ることができる。この時間を基に、前述のTLEを使った軌道情報から、その時の衛星の緯度と経度を計算する。

3.5 GOES画像から雲の3次元形状データ作成

Quicklook画像から雲の位置を決定した後で、その時間に最も近い時間に撮影され、一番解像度の高いGOES画像を検索する。図3はハリケーン“Sandy”がアメリカの東海岸を覆っていた時のGOES-Eastで撮影された全球画像である。

赤外線フィルタを通して撮影された画像では、各画素の値は雲頂の高さと強い相関がある。この値は「輝度温度」とも呼ばれ、温度が下がるほど値が大きくなる。一般に高度が上がるに連れて大気温度は下がり、地表や海面の温度は高いので、画像の中で低い温度を示している部分は雲頂と解釈できる。もし画素の値がある閾値より大きければ雲頂として、その高さを値から推定する。値がある閾値より小さければ、地表か海面であると解釈して、マスキングする。

GOES画像には、画像の各ピクセルの緯度と経度をリスト化した“nav”ファイルが付随している。“nav”ファイルの緯度・経度情報と、ピクセルの値から推定した高さをを用いて雲頂の3次元座標が計算できる。さらに各ピクセルの3次元座標を結ぶと雲頂を表す形状の3次元ポリゴンメッシュを作成できる。ポリゴンの各頂点には (u, v) 座標を割当て、GOES画像を3次元ポリゴンメッシュの対応する位置に張り付けるImage mappingと、雲以外の部分のポリゴンを透明にするためのTransparency mappingを可能にする。得られた3次元ポリゴンメッシュを図4に示す。

図3 GOES-East 気象衛星の赤外線センサで2012年10月29日に撮影された画像
アメリカ北東部の広い範囲がハリケーン“Sandy”で覆われているのが判る。

図4 GOES IR-4 画像から作成されたハリケーン“Sandy”の3D形状

3.6 広範囲な雲の動き

ハリケーンの動きを判りやすく示すため、赤道上の軌道から雲の動きを観測している GOES 気象衛星により撮影された赤外線画像をアニメーションの最初に表示する (図5)。CloudSat がハリケーンを観測する 72 時間前から 3 時間ごとの画像を動画にしたものである。GOES から地球全体を撮影した画像は 3 時間おきに公開されるので、24 画像を連続表示することで 72 時間の雲の動きを表示する。

3.7 カメラの動き

カメラは、最初にハリケーンの真上から見る位置にセットされてまず過去 72 時間の広範囲な雲の動きを表示し、続いて CloudSat 衛星の位置を示すアイコンがハリケーンの上を通過し、同時に“quicklook”データが右から左へワイプされる様子が見られる位置にカメラが滑らかに視点を変え

図5 雲の3次元形状データを配置

図6 合成されたハリケーン“Sandy”の CloudSat データ

ていく。カメラの動きで、見る側が雲の形や大きさを認識する手助けとなる。データ画像が右から左へ表示されることで、衛星の動き、雲の形、得られたデータ、そして時間を関連付けられる。

3.8 アニメーションのレンダリングと合成

一連のデータが得られると、市販のアニメーションソフトを用いてレンダリングを実行する。さらに、レンダリングされた画像、日付と時間、およびデータのカラーマップを市販の画像合成ソフトで合成する。図6は合成された画像である。

一般的なパソコン1台を用いて、HDTV 解像度 (1980x1080) で約 30 秒のアニメーションの制作に要する時間は約 1 時間である。

4. MTSAT による東アジア、西太平洋地域の観測

これまでは GOES-E と GOES-W 衛星からの画像を利用して、大西洋、カリブ海、メキシコ湾、東太平洋地域の CloudSat データの画像化を行ってきた。最近これに加え、東アジア地域で発生する台風の CloudSat データを用いた雲の映像化にも取り組んでいる。GOES-East や GOES-West 衛星からの画像の代わりに、図7のように、日本の打ち上げた Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) からの画

図8は2013年10月に発生した台風27号“Francisco”の3次元形状をMTSATのIR画像(図7)から作成したものである。CloudSat衛星は台風中心のほぼ真上を通過し、図9のように雲の内部を観測した。

このような自動化された映像制作により、さまざまな衛星データを組合せて、気象情報をわかりやすく表す映像制作が可能であることを示した。これらのアニメーションは、

本稿に記載された研究は、アメリカ航空宇宙局との契約によりカリフォルニア工科大学ジェット推進研究所で行われたものである。
(2014年11月5日受付)

- 1) http://www.nasa.gov/pdf/136796main_cloudsat-factsheet.pdf
- 2) D. Vane, G.L. Stephens: "The CloudSat Mission and the ATrain: A Revolutionary Approach to Observing Earth's Atmosphere" Proceedings of the 2008 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA (Mar. 1-8, 2008)
- 3) CloudSat Data Processing Center, Colorado State University Current global merged satellite quicklook image, http://www.cloudsat.cira.colostate.edu/Current_Quicklook.php
- 4) NAIF CSPIICE Toolkit Hypertext Documentation, http://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/toolkit_docs/C/index.html
- 5) S. Suzuki, J.R. Wright, P.C. Falcon: "CloudSat Reflectivity Data Visualization Inside Hurricanes", Proceedings of the 34th International Symposium for Remote Sensing of the Environment, Sydney, Australia (Apr. 10-15, 2011)