

# 人工衛星マイクロ波散乱計 MetOp-B/ASCAT から得られる全球規模海上風速 Level 2 データの精度検証

鈴木 直弥 (近畿大学 理工学部, nsuzuki@mech.kindai.ac.jp)

西野 智也 (山九株式会社)

金田 啓彰 (住友電設株式会社)

## Accuracy of the L2 data of oceanic winds obtained from MetOp-B/ASCAT scatterometer

Naoya Suzuki (Faculty of Science and Engineering, Kinki University, Japan)

Satoshi Nishino (Sankyu Incorporated, Japan)

Hiroaki Kaneda (Sumitomo Densetsu Co. Ltd., Japan)

### 要約

海上風は、大気・海洋間の運動量・熱・CO<sub>2</sub>乱流輸送における促進力として重要なパラメータである。したがって、海上風速を全球規模で精度良く観測することは重要である。そこで全球規模で海上風速を観測している人工衛星データが有用となる。人工衛星による海上風観測は、マイクロ波散乱計・放射計が用いられる。現在の最新では、MetOp-B/ASCAT (The Meteorological Operational satellite program-B/Advanced Scatterometer) がマイクロ波散乱計における全球の約8割を1日で観測している人工衛星である。しかし人工衛星マイクロ波散乱計による海上風観測は推定値であるため、常に精度検証をすることが重要である。そこで本研究では、人工衛星マイクロ波散乱計MetOp-B/ASCATの風速Level 2データをブイデータと比較することで精度検証を行った。精度比較に用いたブイデータは、TAO (Tropical Atmosphere Ocean) /TRITON (Triangle Trans-Ocean Buoy Network) ブイ (13点)、PIRATA (Prediction Research Moored Array in the Tropical Atlantic) ブイ (8点)、RAMA (Research Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction) ブイ (5点)、NDBC (National Data Buoy Center) ブイ (14点) である。データ使用期間は2013年の一年間とした。全球規模におけるブイ風速に対するMetOp-B/ASCAT風速のRMS差を算出した結果、1.02 m/sとなり公証測定精度2.0 m/s以内で精度が良いことが示された。5つ海域毎に分けてRMS差を算出した結果においても全ての海域で精度が良かった。また、全体的な傾向としてMetOp-B/ASCAT風速がブイ風速より大きく見積もる傾向も示された。

### キーワード

MetOp-B/ASCAT, 海上風速, 人工衛星マイクロ波散乱計, 全球規模, ブイ

### 1. はじめに

地球温暖化などの気候変動を常に把握するために地球観測は重要である。その中で地球上の約7割を占める海洋上を吹く風、すなわち海上風は、大気・海洋間運動量・熱・CO<sub>2</sub>の乱流輸送の促進力であるため、大気・海洋間相互作用において重要なパラメータである。全球規模において人工衛星による観測は有用である。

人工衛星による海上風速の観測は、マイクロ波散乱計や放射計が用いられる。マイクロ波放射計は、海面から自然に放射される微弱なマイクロ波の強度を観測して風速を算出するものである。風向は算出できないが、周波数帯によって海面温度や水蒸気などを算出することができる。マイクロ波散乱計は、海面に向けてマイクロ波を送信し、海面からの後方散乱強度を観測して風速と風向を算出するものであり、風速・風向観測に特化している。一般的にマイクロ波散乱計の風速の観測精度は2 m/s以内と言われている。また、分解能は20~30 km程度であり、1000 kmに及ぶ観測幅があり、同じ領域を短い時間間隔で観測できる。人工衛星の高度は約800 kmであり、一般的に海上風速は高度10 mでの風速となっているため、アルゴリズム中の対数分布則によって高度10 mに変換された風速値が提供される。また、ブイデータにおいて

も風速は、測定した高度から対数分布則によって高度10 mでの風速値が提供される。

マイクロ波散乱計による海上風速観測は、1990年代に入ると活発化し、1991年にESA (European Space Agency) によるERS-1/AMI (European Remote-Sensing Satellite-1/Active Microwave Instrument)、1995年に後継機ERS-2、そして1996年には日本の地球観測衛星ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) にNASA (National Aeronautics Space Administration) が開発したNSCAT (NASA Scatterometer) が搭載された。NSCATは1997年に事故で運用を停止した。1999年にNASA/JPL (Jet Propulsion Laboratory) によってQuikSCAT/SeaWindsが打ち上げられ設定寿命を超えた2009年まで運用された。2006年にはESAによってMetOp-A/ASCAT (The Meteorological Operational satellite program-A/Advanced Scatterometer) 打ち上げられ、2012年に後継機としてMetOp-B/ASCATが打ち上げられた。現在では主にMetOp-A/ASCATとMetOp-B/ASCATがマイクロ波散乱計における全球規模海上風速を観測している。しかし、人工衛星による海上風速の観測は、得られた観測値から目的とする物理量を推定するという過程を経ている。そのためアルゴリズムも改訂が行われる。したがって、常に精度検証を行う必要がある。また、MetOp-A/ASCATに対する精度検証や、局所的な精度検証や数値気象モデルデータを用いた精度検証などは行われているが、MetOp-B/ASCATにおいて全球規模で観測値であるブイデータとの精度検証は行われていないのが現状である (Bentamy et al., 2008; Verspeek et al., 2009; Verhoef

et al., 2012; Verspeek et al., 2012; Ebuchi et al., 2012)。

本研究では、人工衛星マイクロ波散乱計MetOp-B/ASCATから得られる海上風速データをブイデータと全球規模で比較することにより精度検証を行うことが目的である。

## 2. 全球規模海上風速データおよび検証方法

### 2.1 人工衛星マイクロ波散乱計 MetOp-B/ASCAT データ

MetOp-B/ASCAT (以降ASCAT) は2012年9月に打ち上げられたヨーロッパの極軌道気象衛星でありESA/EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation Meteorological satellites) によって開発・運用されている。高度817 km、軌道傾斜角98.8°、回帰日数5日、周期101.7分の太陽同期軌道である。観測幅500 km×2にわたり空間分解能25.0 kmで海上風をカバーでき、1日に地球表面の約80%を観測する。観測された後方散乱強度とCMOD5.N (C-band model 5.N: KNMI(Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) アルゴリズムを用いて風速・風向を算出している (Verspeek et al., 2009)。風速データの提供は、風速推定アルゴリズムを用いて物理量として算出した風速データとなっているLevel 2データまでとなっており、毎日にグリッド化されたLevel 3データは、まだ提供されていない。利用できるデータの期間は2012年10月29日から現在となっている(ASCAT Wind Product User Manual, 2013)。

### 2.2 ブイデータ

精度検証に用いた現場データは、熱帯太平洋海域および東インド洋西部海域において展開しているTAO (Tropical Ocean Atmosphere) /TRITON (Triangle Trans - Ocean Buoy Network) ブイを使用した。TAO/TRITON ブイは、米国NOAA/PMEL (National Oceanic and Atmospheric Administration/Pacific Marine Environmental Laboratory) と日本の海洋研究開発機構 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology: JAMSTEC) によって運用されている。67基が東西方向に137°E～95°W、南北方向に9°N～8°Sの海域で稼働している。本研究では、熱帯太平洋海域の13基のブイを使用した。

大西洋において展開しているPIRATA (Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic) ブイを使用した。このブイは、アメリカ、フランス、ブラジルが協力し、NOAA/PMELにより管理されている。17基が東西方向で38°W～8°E、南北方向で19°S～21°Nの海域で稼働している。本研究では、8基のブイを使用した。インド洋においてNOAA/PMELが展開しているRAMA (Research moored Array for African - Asian - Australian Monsoon analysis and prediction) ブイを使用した。16基が東西方向で55°E～100°E、南北方向で16°S～15°Nの海域で稼働している。本研究では、5基のブイを使用した。東太平洋、ハワイ周辺、西大西洋海域において米国NDBC (National Data Buoy Center) が管理しているブイを使用した。110基の係留ブイと50基のC-MAN(Coastal-Marine Automated Network) Stationが展開されている。本研究では、14基のブイを使用した。

上記の観測されたブイデータは米国データブイセンター (NDBC: National Data Buoy Center) によって配信されている。どのブイも1年間連続して観測されているわけではないため、本研究では長期間連続して観測しているブイを選択して使用した。使用したブイの位置を図1に示す。

### 2.3 検証方法

データは2013年の1年間分のデータに対して精度検証を行った。今回使用したASCAT風速データに含まれる期間の中で1年間分の有効データが得られる期間が2013年だったためである。データの観測時刻について、ブイから提供される風速データが10分毎となっているため10分毎のデータを使用し精度検証を行った。

検証の方法として、全球規模・海域別・局所別において、ブイの風速データに対してASCAT風速データをプロットした分布図を出した。またRMS差 (Root Mean Square) による比較を行い、公証測定精度2 m/sより検証を行った。なお、RMS差は (1) 式によって求められる。ここで、 $X_{ei}$  はASCAT風速、 $X_{bi}$  はブイの風速データ、 $N$  はデータ数である。

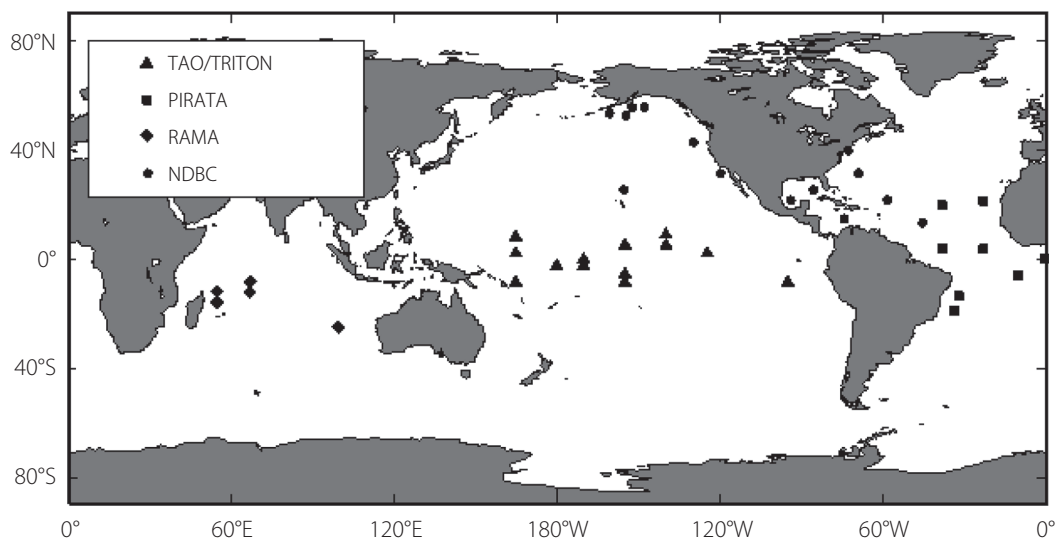


図1：使用したブイの位置

$$RMS差 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_e - X_b)_i^2}{N}} \quad (1)$$

### 3. 結果

全球規模でのASCAT風速データのRMS差は1.02 m/sとなり公証測定精度以内で精度が良かった。ブイ風速に対するASCAT風速の分布図を図2に示す。10 m/s以下の風速域で若干のばらつきが見られるが、プロットが中心に集まっておりASCAT風速がブイ風速に近い値であることがわかる。しかし、ASCAT風速が過大評価している傾向が見られる。そこでインド洋、赤道大西洋、赤道太平洋、北太平洋、北大西洋の5つの海域に分けて同様な検証を行うことで、この傾向の詳細を調べた。

各海域でのRMS差は、インド洋、赤道大西洋、赤道太平洋、北太平洋、北大西洋においてそれぞれ1.27、0.96、0.96、1.06、1.01 m/sとなり、全ての海域で公証測定精度以内となり精度が良かった。図3に各海域のブイ風速に対するASCAT風速の

分布図を示す。どの海域においてもASCAT風速がブイ風速よりも大きい値を示す傾向がみられる。また、赤道大西洋域でASCAT風速の方に大きくばらついているのが分かるが、それ以外に他の海域で、特異的なところは見られない。なお、各海域の各ブイ地点毎のRMS差を表1に示す。どのブイ地点においても公証測定精度以内であることがわかる。さらなる精度向上のため、各海域内で最も精度が低いブイ地点において原因を調査した。

インド洋で最も精度が低かったブイ地点は表1より25°S100°Eであり、ASCAT風速とのRMS差は1.63 m/sである。公証測定精度以内であるが、この海域での他のブイ地点と比べると差が大きく精度が低いことがわかる。これは南インド洋海流とこの年4月～9月に発生した負のダイポールモード現象の影響が考えられる。海流が流れている場所では、吹いている風による海面の粗さに影響をおよぼすことが示唆されている (Kelly et al., 2001)。また、局所的な精度検証 (Verhoef et al., 2012, etc.) が行われているように、人工衛星の風速算出アルゴリズムは、海面に風が吹いたときの粗さの状態と全球での気候 (南氷洋は風が強いなど) などが考慮されているのみであり、局所的な特性や突発的な変化を考慮されているとは言い難い。このことから、海域の突発的な特性での海面の変化を考慮できていないため、精度が低下したと考えられる。

赤道大西洋で最も精度が低かったブイ地点は表1より14°S32°Wである。ASCAT風速とのRMS差は1.48 m/sと精度は良いが、他のブイ地点よりも精度が低下している。この場所は、ブラジル海流上に貿易風が吹いており、海流が流れている場所では、吹いている風による海面の粗さに影響をおよぼすことが示唆されていることから (Kelly et al., 2001)、精度低下の原因となったと考えられる。

赤道太平洋で最も精度が低かったブイ地点は表1より9°N140°Wである。RMS差が1.31 m/sであり、他のブイ地点よ

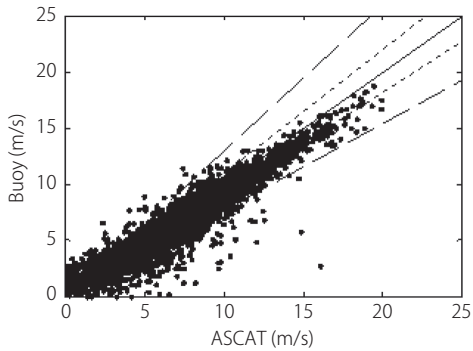


図2：全球規模でのASCAT風速に対するブイ風速の分布  
注：直線／ASCAT風速とブイ風速が等しい、点線／誤差±10%、破線／誤差±30%。

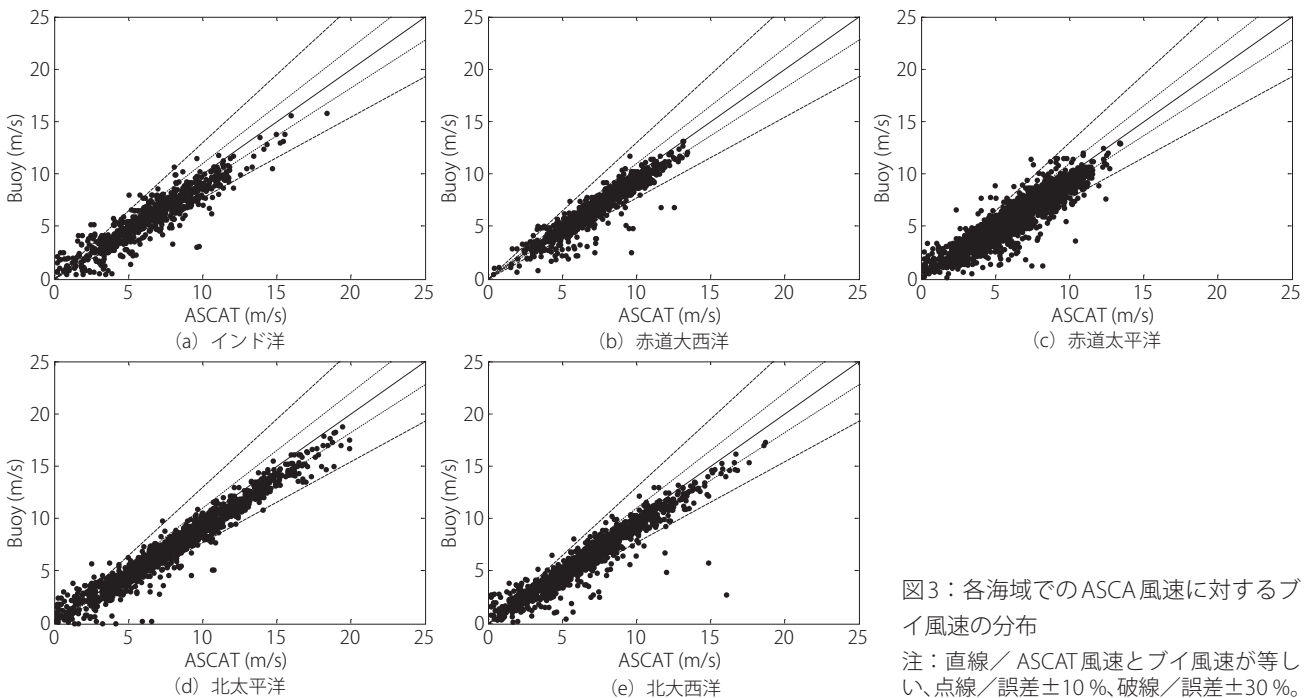


図3：各海域でのASCAT風速に対するブイ風速の分布  
注：直線／ASCAT風速とブイ風速が等しい、点線／誤差±10%、破線／誤差±30%。

表1：各海域での各ブイ地点でのASCAT風速のRMS差 (m/s)

海域	使用ブイ	座標	RMS差
赤道太平洋	TAO/TRITON	0n170w	0.66
		2n125w	0.83
		2n165e	0.99
		2s170w	0.70
		2s180w	0.68
		5n140w	0.85
		5n155w	1.09
		5s155w	0.66
		8n165e	1.14
		8s95w	1.00
		8s155w	1.09
		8s165e	1.18
		9n140w	1.31
赤道大西洋	PIRATA	0n0e	1.16
		4n23w	1.33
		4n38w	1.24
		6s10w	0.65
		14s32w	1.48
	NDBC	19s34w	1.35
		20n38w	0.90
		14n46w	0.76
		15n75w	0.71
		8s67e	0.94
インド洋	RAMA	12s55e	1.27
		12s67e	1.17
		16s55e	1.22
		25s100e	1.63
		24n154w	0.93
北太平洋	NDBC	32n120w	0.93
		43n130w	0.89
		53n155w	1.22
		54n161w	1.13
		56n148w	1.04
		56n153w	1.40
		21n23w	1.01
北大西洋	PIRATA	22n59w	0.76
		22n94w	0.62
		26n86w	1.03
	NDBC	32n69w	1.07
		40n73w	1.46

りも大きく精度が低下していることがわかる。これは2013年にラニーニャ現象には至らないが近い状態（気象庁，2013）になっていたことが、精度低下の原因となっていると考えられる。

北太平洋で最も精度が低かったブイ地点は表1より56°N153°Wである。RMS差が1.40 m/sであり、この海域でも同様に他のブイ地点よりも大きく精度が低下していることがわかる。この地点ではアラスカ海流が流れているため、海流の影響により精度が低下したと考えられる。

北大西洋で最も精度が低かったブイ地点は表1より40°N73°Wである。RMS値が1.46 m/sであり、この海域でも他のブイ地点よりも大きく精度が低下している。これはこの地点において流れている海流のガルフストリーム影響であると考えられる。海流が流れている場所では、吹いている風による海面の粗さに影響をおよぼすことが示唆されていることが(Kelly et al., 2001)原因となったと考えられる。

ブイによる観測が最も精度が高いが観測領域が局所的である。測定原理においてもブイは、風速を直接観測している。逆に人工衛星による海上風速観測は、広範囲を観測可能であるが、海面の粗さから間接的に風速を測定している。そこで

人工衛星ではある点での観測ではなく空間的な平均となってしまうため、同空間内のブイの個数も精度に関係してくることが考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、大気・海洋間相互作用において重要である人工衛星マイクロ波散乱計MetOp-B/ASCATによる全球規模海上風速データの精度について検証することを目的とし、ブイデータと比較し散布図およびRMS差（公証測定精度2.0 m/s未満）で精度検証を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 全球規模においてMetOp-B/ASCATのRMS差は1.02 m/sであり、MetOp-B/ASCATから得られる風速の測定精度は良かった。
- (2) インド洋、赤道大西洋、赤道太平洋、北太平洋、北大西洋の5つの海域毎のRMS差はそれぞれ1.27、0.96、0.96、1.06、1.01 m/sとなり、MetOp-B/ASCATから得られる風速の測定精度が良かった。
- (3) 全球規模および5つの海域においても、MetOp-B/ASCAT風速が過大に見積もる傾向が見られた。

MetOp-B/ASCATから得られる風速の測定精度が低下する原因として、どの海域においても海流の影響が考えられる。また突発的な気候変化の影響も挙げられる。したがって、常に精度検証を行う必要性も本研究は示唆するものである。

#### 引用文献

Bentamy, A., Croize-Fillon, D. and Perigaud, C. (2008). Characterization of ASCAT measurements based on buoy and QuikSCAT wind vector observations. *Ocean Science*, Vol. 4, No. 4, 265-274.

Ebuchi, N. (2012). Self-Consistency of marine surface wind vectors observed by ASCAT. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 50, No. 7, 2473-2480.

Kelly, A. K., Dickinson, S., McPhaden, M. J. and Johnson, G. C. (2001). Ocean currents evident in satellite wind data. *Geophysical Research Letter*, Vol. 28, 2469-2472.

気象庁 (2013). エルニーニョ監視速報. No. 252, 気象庁地球環境・海洋部.

Verhoef, A., Portabella, M. and Stoffelen, A. (2012). High-resolution ASCAT scatterometer winds near the coast. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 50, No. 7, 2481-2487.

Verspeek, J., Stoffelen, A., Portabella, M., Bonekamp, H., Anderson, C. and Figa, J. (2009). Validation and calibration of ASCAT using CMOD5.n. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 1, 386-395.

Verspeek, J., Stoffelen, A., Verhoef, A. and Portabella, M. (2012). Improved ASCAT Wind Retrieval Using NWP Ocean Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 50, No. 7, 2488-2494, doi:10.1109/TGRS.2011.2180730.

(受稿：2015年2月16日 受理：2015年2月25日)