

GOSAT-2 TANSO-FTS-2 L2 事前処理 アルゴリズム基準書

2025 年 6 月

国立環境研究所 GOSAT-2 プロジェクト

吉田 幸生¹⁾

1) 国立環境研究所 地球環境研究センター

改訂履歴

版数	制定年月	改訂箇所	改訂内容、理由
00	2020 年 11 月	—	—
01	2021 年 3 月	p. 27	4. 4. 3 の数式を修正
02	2022 年 8 月	p. 9, p. 10, p. 11, p. 24	参照データ名を修正
		p. 23, p. 24	4. 4 (b) に記述を追記
03	2025 年 6 月	p. 9, p. 10	参照データ名を追記
		p. 10	3. 3. 4 に記述を追記
		p. 11	3. 3. 4 の誤記を修正
			以下に記述を追記 ・ 3. 3. 4 ・ 3. 3. 5 ・ 3. 3. 6
		p. 23, p. 24	参照データ名を追記

※ 本文書記載の所属は初版制定時点のものである。

目次

1. はじめに	1
1.1 適用範囲	1
1.2 適用文書	2
2. 背景	3
2.1 観測機器の概要	3
2.2 FTS-2 L2 事前処理	4
3. 入出力データ	5
3.1 入力データ	5
3.2 出力データ	7
3.3 参照データ	9
3.3.1 数値標高データ	10
3.3.2 ジオイド高データ	10
3.3.3 全球陸水フラグ	10
3.3.4 JRA-55/JRA-3Q	10
3.3.5 分散・共分散行列データ (JRA-55/JRA-3Q)	11
3.3.6 NICAM-TM	11
3.3.7 分散・共分散行列データ (NICAM-TM)	12
3.3.8 ACTM	12
3.3.9 分散・共分散行列データ (ACTM)	12
3.3.10 CO 気候値	12
3.3.11 分散・共分散行列データ (CO 気候値)	12
3.3.12 SPRINTARS	12
3.3.13 MODIS L3 MYD11A1	12
3.3.14 MODIS L3 MCD12Q1	13
3.3.15 MODIS L3 MYD13Q1	13
3.3.16 MODIS L3 MYD10C1	13
3.3.17 MODIS L3 (SST)	13
3.3.18 MODIS L3 MYD29P1D/1N	13
3.3.19 NOAA OISST (AVHRR-Only)	13
3.3.20 NSIDC Data Set ID: G02135	14
3.3.21 NSIDC Data Set ID: NISE	14
3.3.22 CAI-2 L1B プロダクト	14
3.3.23 CAI-2 L2 事前処理結果 (地表面アルベド)	14

3.3.24	CAI-2 L2 雲識別プロダクト	14
3.3.25	CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクト	14
4.	FTS-2 L2 事前処理アルゴリズム	15
4.1	アルゴリズムの概要	15
4.2	入力データ・参照データ読込	15
4.3	観測幾何情報算出	16
4.3.1	FTS-2 視野中心位置	16
4.3.2	FTS-2 観測視野範囲・拡大視野範囲	16
4.3.3	天頂角・方位角・鏡面反射・視野離角	17
4.3.4	放射伝達基準面と FTS-2 スキャンミラー反射基準面のなす角	19
4.3.5	FTS-2 スキャンミラーにおける入射角、および、FTS-2 スキャンミラー反射 基準面と FTS-2 検出器基準面のなす角	20
4.3.6	観測光偏光面と放射伝達基準面のなす角	21
4.3.7	ドップラー速度	22
4.4	参照情報設定	23
4.4.1	圈界面高度の算出	25
4.4.2	重力の算出	25
4.4.3	CAI-2 植生指数 (日照部のみ実施)	27
4.4.4	CAI-2 雲判定 (日照部のみ実施)	27
4.4.5	FTS-2 2 μm 帯雲判定 (日照部のみ実施)	29
4.5	処理結果出力	31
5.	前提条件・制約事項	32
6.	参考文献	33

1. はじめに

本アルゴリズム基準書は、GOSAT-2 に搭載された TANSO-FTS-2 により観測された観測輝度スペクトルデータ (TANSO-FTS-2 L1B プロダクト) を用いて TANSO-FTS-2 L2 処理を行う際に必要となる事前処理のアルゴリズムについて説明するものである。

1.1 適用範囲

システム全体の処理フローを図 1.1-1 に示す。図中の黄色く示した部分が、本アルゴリズム基準書の適用範囲である。

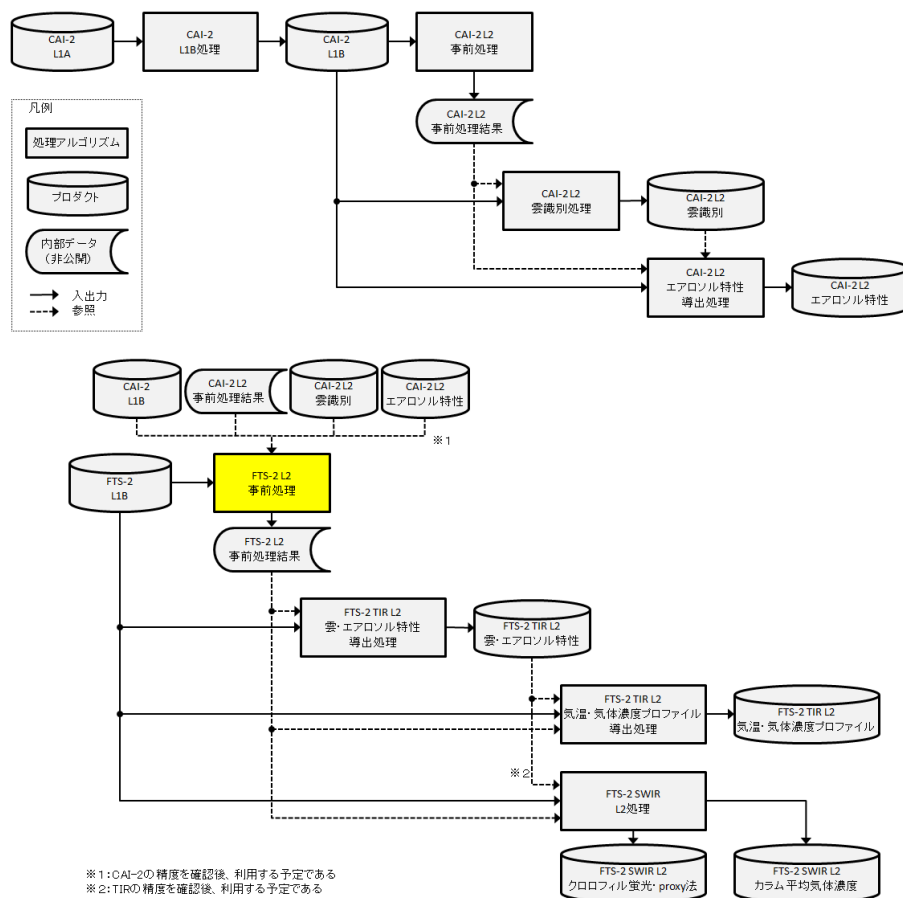


図 1.1-1 システム全体の処理フローにおける本アルゴリズム基準書の適用範囲。

1.2 適用文書

本アルゴリズム基準書の関連文書を以下に挙げる。

- (1) 温室効果ガス観測技術衛星 2 号 (GOSAT-2) アルゴリズム基準書
- (2) GOSAT-2/TANSO-FTS-2 レベル 1 プロダクトフォーマット説明書
- (3) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L1B 処理 アルゴリズム基準書
- (4) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 Pre-processing Algorithm Theoretical Basis Document
- (5) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 雲識別処理 アルゴリズム基準書
- (6) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 エアロソル特性処理 アルゴリズム基準書
- (7) 国立環境研究所 GOSAT-2 プロダクトファイルフォーマット説明書 (プロダクト編)
 - ・第 1 分冊 : GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L1B プロダクト
 - ・第 2 分冊 : GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 雲識別プロダクト
 - ・第 3 分冊 : GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクト

2. 背景

2.1 観測機器の概要

GOSAT-2 には温室効果ガス観測センサ 2 型 (TANSO-FTS-2 ; 以下、FTS-2) と雲・エアロゾルセンサ 2 型 (TANSO-CAI-2 ; 以下、CAI-2) が搭載される。FTS-2 は短波長赤外 (short wavelength infrared; SWIR) 域に 3 バンド、熱赤外 (thermal infrared; TIR) 域に 2 バンドを有するフーリエ変換分光計であり、二軸のポインティング機構を用いて、アロングトラック (along track; AT) 方向 $\pm 40^\circ$ 、クロストラック (cross track; CT) 方向 $\pm 35^\circ$ 内の任意の点を、瞬時視野角 (instantaneous field of view; IFOV) 15.8 mrad (衛星直下視で直径約 9.7 km の円に相当) で観測する。CAI-2 は衛星直下点より衛星進行方向に対し前方・後方 ($\pm 20^\circ$) にそれぞれ紫外域から短波長赤外域 5 バンド、計 10 バンドを有する電子走査イメージャーである。クロストラック方向に 920 km の視野を 0.46 km もしくは 0.92 km の空間分解能で観測する。FTS-2、CAI-2 の仕様をそれぞれ表 2.1-1、2.1-2 に示す。

FTS-2 TIR は日照・日陰の両方で運用されるが、FTS-2 SWIR、および、CAI-2 の運用は地表日照域に限定される。

表 2.1-1 TANSO-FTS-2 仕様。

	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5
偏光観測	有	有	有	無	無
波数範囲 [cm^{-1}]	12950 - 13250	5900 - 6400	4200 - 5200	1188 - 1800	700 - 1188
装置関数半値全幅	$< 0.4 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.27 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.27 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.27 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.27 \text{ cm}^{-1}$
サンプリング間隔	$< 0.2 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.2 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.2 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.2 \text{ cm}^{-1}$	$< 0.2 \text{ cm}^{-1}$
データ取得間隔	約 4.67 秒 (インタフェェログラム取得に要する時間 : 4.024 秒)				
瞬時視野角	15.8 mrad (衛星直下点における地表投影直径 : 約 9.7 km)				
視野領域	$\pm 40^\circ$ (アロングトラック方向)、 $\pm 35^\circ$ (クロストラック方向)				

表 2.1-2 TANSO-CAI-2 仕様。

	Band 1 / 6	Band 2 / 7	Band 3 / 8	Band 4 / 9	Band 5 / 10
鏡筒	鏡筒 1	鏡筒 2	鏡筒 3	鏡筒 4	鏡筒 5
指向方向	前方視 (AT 方向 前方 20°) / 後方視 (AT 方向 後方 20°)				
中心波長 [μm]	0.343 / 0.380	0.443 / 0.550	0.674	0.869	1.63
波長幅 [μm]	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.09
分解能	0.46 km				0.92 km
有効画素数	2048				958
撮像幅	920 km				

2.2 FTS-2 L2 事前処理

図 1.1-1 に示すように、FTS-2 には FTS-2 TIR L2 雲・エアロソル特性導出処理、FTS-2 TIR L2 気温・気体濃度プロファイル導出処理、FTS-2 SWIR L2 処理の三種類の L2 処理が存在する。L2 処理に含まれる放射伝達計算で用いられる気温や気体濃度の高度分布の設定等、複数の L2 処理で共通で利用される情報の設定を FTS-2 L2 事前処理で実施する。なお、個別の処理でのみ利用するものの、FTS-2 L2 事前処理で併せて設定する方が効率的である情報についても FTS-2 L2 事前処理で設定する。

3. 入出力データ

3.1 入力データ

FTS-2 L2 事前処理における入力データは FTS-2 L1B プロダクトである。FTS-2 L1B プロダクトは SWIR と TIR にて共通の情報を格納した「共通ファイル」と、SWIR 固有の情報を格納した「SWIR 固有ファイル」、TIR 固有の情報を格納した「TIR 固有ファイル」から構成される。FTS-2 L1B プロダクトは衛星の昇交点を起点として 1 周回分のデータが 4 シーンに分割されており、シーン 01 は昇交点から日陰観測終了まで、シーン 02 は日照観測開始から降交点まで、シーン 03 は降交点から日照観測終了まで、シーン 04 は日陰観測開始から次の昇交点まで、のデータがそれぞれ格納される。日照観測と日陰観測が切替わる場所は季節により変動する。

FTS-2 L2 事前処理では、日照観測時には SWIR 固有ファイルを、日陰観測時には TIR 固有ファイルを使用する。FTS-2 L2 事前処理において、処理の入力となるデータの一覧を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 FTS-2 L2 事前処理で使用する FTS-2 L1B プロダクト格納項目。

データセット名	説明	単位
SoundingAttribute		
numSoundings	ファイルに格納されている観測点数。	
observationTime	FTS-2 観測時刻。4.024 秒のインタフェログラム取得時間の中 心時刻が格納される。	
QualityInfo		
SNR ¹⁾	簡易的に評価した SNR。	
ProcessingParameters		
alignmentMatrix	TANSO-FTS-2 光軸座標系から衛星座標系への座標変換行列。	
SatelliteGeometry		
satPos_ECR	観測時刻における衛星位置 (ECR)。	km
satVel_ECR	観測時刻における衛星速度 (ECR)。	km/s
satToECR_Matrix	衛星座標系から ECR への座標変換行列。	
SolarGeometry		
solarPos_ECR	観測時刻におけるみかけの太陽位置 (ECR)。	km
solarVel_ECR	観測時刻におけるみかけの太陽速度 (ECR)。	km/s
PointingGeometry		
pointingAT	観測時刻における AT 軸周りのモータ回転角。	deg.
pointingCT	観測時刻における CT 軸周りのモータ回転角。	deg.
viewVector	観測時刻における衛星座標系での視線ベクトル。	
SoundingData		
WavenumberInfo		
numWN ¹⁾	スペクトルデータ点数。	
beginWN ¹⁾	スペクトルデータ開始波数。	cm ⁻¹
deltaWN ¹⁾	スペクトルデータ波数間隔。	cm ⁻¹
RawSpectrum		
band3P ¹⁾	感度校正前の Band 3P スペクトルデータ。	V/cm ⁻¹
band3S ¹⁾	感度校正前の Band 3S スペクトルデータ。	V/cm ⁻¹

1) 日照観測時のみ使用。

3.2 出力データ

FTS-2 L2 事前処理結果として後続の FTS-2 L2 処理へ引き継がれる出力データを表 3.2-1 に示す。後続の個々の FTS-2 L2 処理では必ずしもここに挙げた全ての出力データを使用するわけではなく、また、使用方法も FTS-2 L2 処理毎に異なるため、詳細は個々の FTS-2 L2 処理アルゴリズム基準書を参照のこと。

表 3.2-1 FTS-2 L2 事前処理の出力データ。

分類	出力データ
FTS-2 観測幾何情報	FTS-2 視野中心位置、および、FTS-2 観測視野範囲・拡大視野範囲 (各 36 点) に対するオルソ補正後の緯度 [deg.]・経度 [deg.]・標高 [m]。 オルソ補正後の FTS-2 視野中心位置に対応する太陽天頂角 [deg.]・方位角 [deg.]、衛星天頂角 [deg.]・方位角 [deg.]、鏡面反射・視野離角 [deg.]。 放射伝達基準面とスキャンミラー反射基準面とのなす角 [deg.]、スキャンミラーに対する入射角 [deg.]、スキャンミラー反射基準面と FTS-2 検出器基準面のなす角 [deg.]、観測光偏光面と放射伝達基準面のなす角 [deg.]。 太陽、および、衛星に対するドップラー速度 [m/s]。
地表面データ	FTS-2 視野中心位置の地表面温度 [K]、地表面気圧 [hPa]、地上風速 (東西風・南北風) [m/s] と地上風速の分散 [(m/s) ²]。 FTS-2 観測視野範囲内に含まれる数値標高データ [m]・植生指数データ・CAI-2 植生指数・雪氷情報データ (MODIS)・海面水温データ [K] (MODIS)・地表面射出率データのグリッド点総数、有効グリッド点数、および、各データの平均値、標準偏差、最頻値。 FTS-2 観測視野範囲内に含まれる陸海マスクデータ・土地被覆データのグリッド点総数、および、カテゴリ別のグリッド点数。 FTS-2 観測視野範囲内に含まれる海氷情報データ (MODIS) のグリッド点総数、カテゴリ別のグリッド点数、および、海氷温度データ [K] (MODIS) の有効グリッド点数、平均値、標準偏差、最頻値。 FTS-2 視野中心位置の海面水温データ [K] (NOAA)・海氷情報データ (NSIDC)・海氷密接度データ [%] (NSIDC)。
大気データ	FTS-2 観測時刻、視野中心位置に時間・空間内挿した気圧 [hPa]・気温 [K]・ジオポテンシャル高度 [m]・東西風 [m/s]・南北風 [m/s]・相対湿度 [%]・ポテンシャル渦度 [K m ² /kg/s]・重力加速度 [m/s ²] の高度分布データ、および、圏界面高度 [m]。高度分布の層数は源泉データに準ずる。

分類	出力データ
気体濃度データ ¹⁾	FTS-2 観測時刻、視野中心位置に時間・空間内挿した H ₂ O, CO ₂ , O ₃ , N ₂ O, CO, CH ₄ 濃度 [ppm] の高度分布データ、および、各気体濃度の分散・共分散行列 [ppm ²]。高度分布の層数、および、地表面気圧 [hPa] は源泉データに準ずる。
エアロソルデータ	FTS-2 観測時刻、視野中心位置に時間・空間内挿したエアロソル種別の質量混合比プロファイル [kg/kg]。高度分布の層数、および、エアロソルの種類は源泉データに準ずる。 FTS-2 観測視野範囲内に含まれる CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクトのピクセル総数、有効ピクセル数、および、バンド毎の粒径別エアロソル光学的厚さ・一次散乱アルベドとオングストローム指数の平均値・標準偏差・最頻値。 ²⁾
FTS-2 視野範囲内 雲状況 ²⁾	FTS-2 拡大視野範囲内に含まれる CAI-2 L1B プロダクトの視線方向別ピクセル総数、海ピクセル数、有効海ピクセル数、および、海ピクセルに対するバンド別輝度 [W/m²/str/μm] の平均値、標準偏差、最頻値。 FTS-2 拡大視野範囲内に含まれる CAI-2 L2 雲識別プロダクトの視線方向別ピクセル総数、海ピクセル数、有効ピクセル数、および、総合晴天信頼度の範囲別ピクセル数と海ピクセルに対する Cone Angle の範囲別ピクセル数。 FTS-2 視野中心位置に最も近い CAI-2 ピクセルの観測時刻と FTS-2 観測時刻の差 [sec]。 CAI-2 L1B プロダクトによる雲判定結果と判定に使用した視線方向。 CAI-2 L2 雲識別プロダクトによる雲判定結果と判定に使用した視線方向、視野内被雲率、海ピクセルに対する最小 Cone Angle に対応するインデックス。 FTS-2 偏光成分別 2 μm 帯雲判定結果と判定に使用したスペクトルデータの波数点数、ノイズレベルで規格化した輝度の平均値、標準偏差。

1) 特に断らない限り、『乾燥大気に対するモル比』を『気体濃度』と呼ぶ。

2) 日照観測時のみ有効な値が出力される。

3.3 参照データ

FTS-2 L2 事前処理で使用する参照データを表 3.3-1 に示す。詳細は本節の各項を参照のこと。なお、源泉データの入手先情報は 2020 年 10 月時点のものである。

表 3.3-1 FTS-2 L2 事前処理で使用する参照データ。

参照データ	主な参照項目
数値標高データ	標高
ジオイド高データ	ジオイド高
全球陸水フラグ	陸水フラグ
JRA-55/JRA-3Q	大気データ、地表面データ、O ₃ 濃度プロファイルなど
分散・共分散行列データ (JRA-55/JRA-3Q)	大気データ、地表面データ、O ₃ 濃度プロファイルなどの分散・共分散行列
NICAM-TM	CO ₂ 濃度プロファイル、CH ₄ 濃度プロファイル
分散・共分散行列データ (NICAM-TM)	CO ₂ 濃度プロファイル、CH ₄ 濃度プロファイルの分散・共分散行列
ACTM	N ₂ O 濃度プロファイル (daily)
分散・共分散行列データ (ACTM)	N ₂ O 濃度プロファイルの分散・共分散行列
CO 気候値	CO 濃度プロファイル
分散・共分散行列データ (CO 気候値)	CO 濃度プロファイルの分散・共分散行列
SPRINTARS	エアロソル種別質量混合比プロファイル
MODIS L3 MYD11A1	地表面射出率 (daily)
MODIS L3 MCD12Q1	土地被覆 (daily)
MODIS L3 MYD13Q1	植生指数 (16-day)
MODIS L3 MYD10C1	雪氷情報 (daily)
MODIS L3 (SST)	海面水温
MODIS L3 MYD29P1D/1N	海氷情報 (daily)
NOAA OISST (AVHRR-Only)	海面水温
NSIDC Data Set ID: G02135	海氷インデックス
NSIDC Data Set ID: NISE	雪氷情報
CAI-2 L1B プロダクト	CAI-2 バンド別輝度
CAI-2 L2 事前処理結果 (地表面アルベド)	CAI-2 L2 事前処理で得られる視線方向別地表面アルベド
CAI-2 L2 雲識別プロダクト	CAI-2 視線方向別 総合晴天信頼度等
CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクト	エアロソル光学的厚さ、オングストローム指数等

03

03

3.3.1 数値標高データ

複数の DEM データを繋ぎ合わせ、空間解像度を CAI-2 の分解能とほぼ同等の 15 秒メッシュに加工したデータ。用いたデータと利用範囲は以下のとおり。

ALOS DEM V2.1	北緯 60 度 ～ 南緯 60 度 (一部の島嶼域を除く)
MODIS DEM	北緯 60 度 ～ 北緯 90 度 (グリーンランドを除く)
NSIDC DEM	南緯 60 度 ～ 南緯 90 度
GTOPO30	グリーンランド
ASTER GDEM V2	島嶼域
SRTM DEM	島嶼域

3.3.2 ジオイド高データ

EGM96 ジオイドデータを 15 分メッシュの分解能で格納したファイル。アメリカ国家地理空間情報局 (<https://earth-info.nga.mil/GandG/update/index.php?action=home>) から取得可能。

3.3.3 全球陸水フラグ

CAI-2 の分解能とほぼ同等の 15 秒メッシュの分解能で陸域と水域の識別を格納したファイル。CAI-2, FTS-2 の処理で共通に用いる。

3.3.4 JRA-55/JRA-3Q

気象庁 55 年長期再解析データ (JRA-55)、もしくは気象庁第 3 次長期再解析データ (JRA-3Q) のうち、以下に挙げるデータを利用する。JRA-55 が 2024 年 2 月に準リアルタイムデータの更新を終了したため、後継の JRA-3Q へと切り替えた。TANSO-FTS-2 L2 V02.10 までは JRA-55、TANSO-FTS-2 L2 V02.20 以降は JRA-3Q を使用する。

(1) 等温位面解析値 (anl_isentrop)

～ 気圧、ポテンシャル渦度

(2) モデル面解析値 (anl_mdl)

～ ジオポテンシャル高度、気温、風の u 成分、風の v 成分、比湿

(3) 地表面解析値 (anl_surf)

～ 気圧、気温、風の u 成分、風の v 成分

(4) 等圧面予報値 (fcst_p125)

～ オゾン質量混合比

(5) 陸面解析値 (anl_land) (TANSO-FTS-2 L2 V02.00 以降)

～ キャノピーの温度、地面・下草の温度

03

03

JRA-55 は GRIB1 形式のファイルであり、気象庁データ提供システムの web ページ (JDDS、https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_ja.html) に記載のデータ提供協力機関から取得可能。

03

JRA-3Q は GRIB2 形式のファイルであり、気象庁データ提供システムの web ページ (JDDS、https://jra.kishou.go.jp/JRA-3Q/index_ja.html) に記載のデータ提供協力機関から取得可能。

03

3.3.5 分散・共分散行列データ (JRA-55/JRA-3Q)

03

JRA-55 もしくは JRA-3Q をもとに作成した月別の分散・共分散行列データ。モデル格子毎に以下の物理量に対する分散・共分散行列を計算した。

(1) 水蒸気濃度高度分布

3.3.4 項 (2) モデル面解析値 比湿 q を乾燥大気に対するモル比 C_{H2O} に変換し、分散・共分散行列を計算。

$$C_{H2O} = \frac{q}{1-q} \frac{n_{dry}}{n_{H2O}} \quad (3.3.4-1)$$

ここで、 n_{dry} , n_{H2O} はそれぞれ乾燥大気の平均モル質量、水蒸気のモル質量である。

(2) オゾン濃度高度分布

3.3.4 項 (4) 等圧面予報値 オゾン質量混合比 w_{O3} を乾燥大気に対するモル比 C_{O3} に変換し、分散・共分散行列を計算。

$$C_{O3} = w_{O3} \frac{n_{dry}}{n_{O3}} \quad (3.3.4-2)$$

ここで、 n_{O3} はオゾンのモル質量である。

(3) 地上風速

3.3.4 項 (3) 地表面解析値 風の u 成分 V_u 、風の v 成分 V_v から風速 V を計算し、分散を計算。

$$V = \sqrt{V_u^2 + V_v^2} \quad (3.3.4-3)$$

3.3.6 NICAM-TM

大気輸送モデル NICAM-TM による二酸化炭素濃度、メタン濃度の高度分布データである。輸送計算に用いる気象場として JRA-55 もしくは JRA-3Q を使用し、NIES 内で

03

計算が行われる。

3.3.7 分散・共分散行列データ (NICAM-TM)

3.3.6 項 NICAM-TM データをもとに作成した、二酸化炭素濃度高度分布、メタン濃度高度分布それぞれの月別の分散・共分散行列データである。モデル格子毎に各気体濃度の高度分布データに対する分散・共分散行列を計算した。

3.3.8 ACTM

大気輸送モデル ACTM による亜酸化窒素濃度の高度分布データである。GTOOL3 形式のファイルであり、気象庁気象研究所に所属する協力研究者から提供いただく。

3.3.9 分散・共分散行列データ (ACTM)

3.3.8 項 ACTM データをもとに作成した、亜酸化窒素濃度高度分布の月別の分散・共分散行列データである。モデル格子毎に亜酸化窒素濃度の高度分布データに対する分散・共分散行列を計算した。

3.3.10 CO 気候値

大気化学輸送モデル MOZART データをもとに作成した一酸化炭素濃度高度分布の月別の気候値データである。モデル格子毎に月別の一酸化炭素平均濃度高度分布を計算した。

源泉の MOZART データは netCDF 形式のファイルであり、NCAR (<https://www.acom.ucar.edu/wrf-chem/mozart.shtml>) から取得可能。

3.3.11 分散・共分散行列データ (CO 気候値)

大気化学輸送モデル MOZART データをもとに作成した一酸化炭素濃度高度分布の月別の分散・共分散行列データである。モデル格子毎に一酸化炭素濃度の高度分布データに対する分散・共分散行列を計算した。

源泉の MOZART データは netCDF 形式のファイルであり、NCAR (<https://www.acom.ucar.edu/wrf-chem/mozart.shtml>) から取得可能。

3.3.12 SPRINTARS

エアロソル輸送モデル SPRINTARS によるエアロソル質量混合比の高度分布データである。NIES 内で計算が行われる。

3.3.13 MODIS L3 MYD11A1

MODIS/Aqua による地表面射出率データ。

MYD11A1 データは HDF-EOS 形式のファイルであり、USGS (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLA/MYD11A1.006/>) から取得可能。

3.3.14 MODIS L3 MCD12Q1

MODIS/Terra、MODIS/Aqua による土地被覆データ。

MCD12Q1 データは HDF-EOS 形式のファイルであり、USGS (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOTA/MCD12Q1.006/>) から取得可能。

3.3.15 MODIS L3 MYD13Q1

MODIS/Aqua による正規化植生指数データ。

MYD13Q1 データは HDF-EOS 形式のファイルであり、USGS (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLA/MYD13Q1.006/>) から取得可能。

3.3.16 MODIS L3 MYD10C1

MODIS/Aqua による雪氷情報データ。

MYD10C1 データは HDF-EOS 形式のファイルであり、NSIDC (<https://nsidc.org/data/MYD10C1/>) から取得可能。

3.3.17 MODIS L3 (SST)

MODIS/Aqua による海面水温データ。

SST データは netCDF 形式のファイルであり、NASA PODAAC (<https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/modis/L3/aqua/>) から取得可能。

3.3.18 MODIS L3 MYD29P1D/1N

MODIS/Aqua による海氷情報データ。

MYD29P1D/1N データは HDF-EOS 形式のファイルであり、NSIDC (<https://nsidc.org/data/myd29p1d/>, <https://nsidc.org/data/myd29p1n/>) から取得可能。

3.3.19 NOAA OISST (AVHRR-Only)

NOAA が公開している衛星・船舶・ブイなどによる海面水温データに基づき内挿等を行った海面水温データ。

OISST (AVHRR-Only) データは netCDF 形式のファイルであり、NOAA (<https://www.ncei.noaa.gov/data/sea-surface-temperature-optimum-interpolation/v2.1/access/avhrr/>) から取得可能。

3.3.20 NSIDC Data Set ID: G02135

SSMIS/DMSP による海氷インデックスデータ。

G02135 データは GeoTIFF 形式のファイルであり、NSIDC (<ftp://sidacs.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02135/>) から取得可能。

3.3.21 NSIDC Data Set ID: NISE

SSMIS/DMSP による雪氷情報データ。

NISE データは HDF-EOS 形式のファイルであり、NSIDC (<https://n5eil01u.ecs.nsidc.org/OTHR/NISE.005/>) から取得可能。

3.3.22 CAI-2 L1B プロダクト

TANSO-FTS-2 と同一周回で観測された TANSO-CAI-2 L1B プロダクト。

TANSO-CAI-2 L1B プロダクトは HDF5 形式のファイルであり、GOSAT-2 Product Archive (<https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/>) から取得可能。

3.3.23 CAI-2 L2 事前処理結果 (地表面アルベド)

TANSO-FTS-2 の観測と同一のパスに対し、観測日前後約一ヶ月間の TANSO-CAI-2 L1B プロダクトを用いて計算した地表面アルベドデータ。詳細は 1.2 節 (4) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 Pre-processing Algorithm Theoretical Basis Document を参照のこと。

3.3.24 CAI-2 L2 雲識別プロダクト

TANSO-FTS-2 と同一周回で観測された TANSO-CAI-2 L2 雲識別プロダクト。

TANSO-CAI-2 L2 雲識別プロダクトは HDF5 形式のファイルであり、GOSAT-2 Product Archive (<https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/>) から取得可能。

3.3.25 CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクト

TANSO-FTS-2 と同一周回で観測された TANSO-CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクト。

TANSO-CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクトは HDF5 形式のファイルであり、GOSAT-2 Product Archive (<https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/>) から取得可能。

4. FTS-2 L2 事前処理アルゴリズム

4.1 アルゴリズムの概要

FTS-2 L2 事前処理アルゴリズムの概要フローを図 4.1-1 に示す。

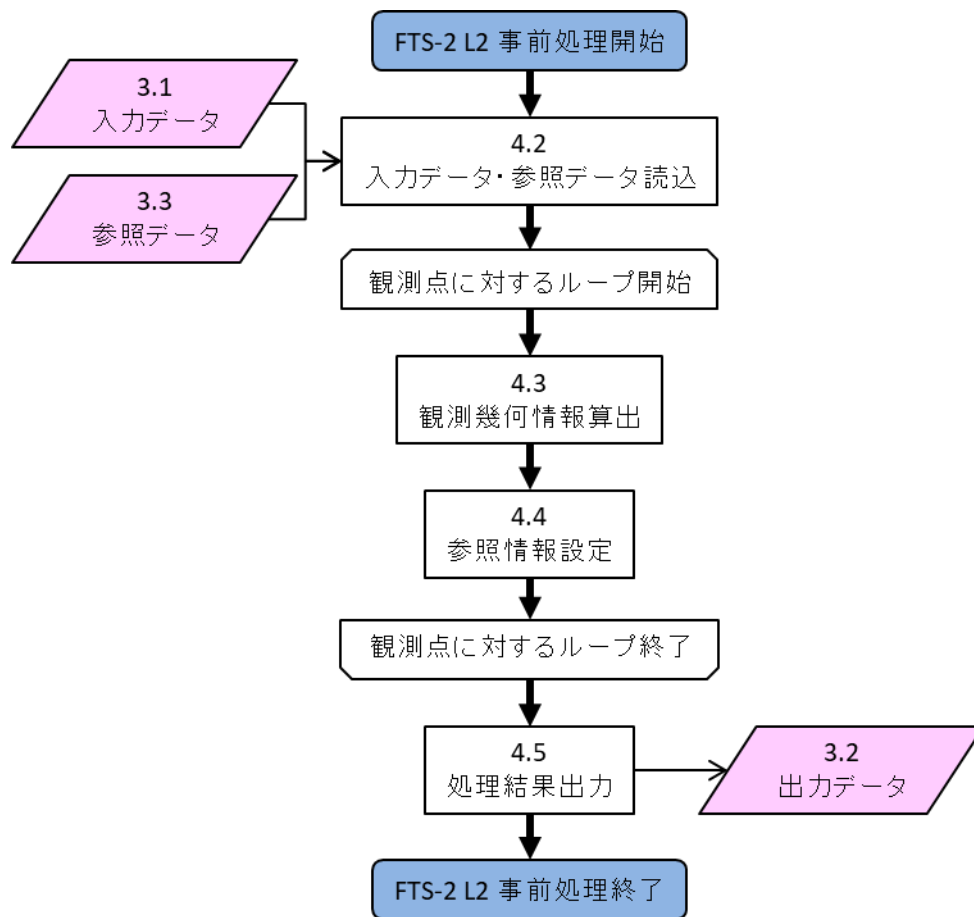


図 4.1-1 FTS-2 L2 事前処理 概要フロー。

4.2 入力データ・参照データ読込

3.1 節に示した入力データ (FTS-2 L1B プロダクト)、および、3.3 節に示した参照データを読み込む。

4.3 観測幾何情報算出

FTS-2 L1B プロダクトに格納されている観測点位置は地球楕円体上の位置である。ここでは、地形を考慮した実際の FTS-2 視野中心位置と観測視野範囲、および、IFOV にマージンを加えた拡大視野範囲を算出する。拡大視野範囲は FTS-2 とは異なる視野角で観測が実施される CAI-2 データ使用時に、観測時刻の差異に伴い FTS-2 視野内へ雲が流入する可能性を考慮するためのものである。

加えて、FTS-2 L2 処理においてフォワードモデル計算で使用する FTS-2 視野中心位置における太陽天頂角・方位角、衛星天頂角・方位角、鏡面反射・視野離角、放射伝達基準面と FTS-2 スキャンミラー反射基準面とのなす角、FTS-2 スキャンミラーにおける入射角、FTS-2 スキャンミラー反射基準面と FTS-2 検出器基準面のなす角、観測光偏光面と放射伝達基準面のなす角、および、FTS-2 視野中心位置から見た衛星、太陽のドップラー速度を求める。

4.3.1 FTS-2 視野中心位置

FTS-2 L1B プロダクトに格納されている FTS-2 観測時刻における衛星位置 (ECR)、視線ベクトル (衛星座標系)、衛星座標系から ECR への座標変換行列を用いて、視線ベクトルと地形を考慮した地表面との交点を求める (オルソ補正)。

本処理は CAI-2 L1B 処理と共通のアルゴリズムを使用しており、その詳細については、1.2 節 (3) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L1B 処理 アルゴリズム基準書を参照のこと。地形情報は参照データである数値標高データ (3.3.1 項)、およびジオイド高データ (3.3.2 項) で与えられる。

4.3.2 FTS-2 観測視野範囲・拡大視野範囲

FTS-2 視野範囲は、視線ベクトルに対して $(\text{IFOV} / 2 + \delta\theta) (= 15.8 \text{ mrad} / 2 + \delta\theta = 7.9 \text{ mrad} + \delta\theta)$ の角度をなす円錐状のベクトル群と地表面との交点群を繋いでできる領域として表すことができる。 $\delta\theta$ は IFOV に対するマージン角で、観測視野範囲算出時には 0 mrad、拡大視野範囲算出時には 2 mrad とする。本処理においては、円錐を 10° 刻みで与えられる 36 角錐で近似しており、したがって、FTS-2 視野範囲も 36 角形の近似表現となる。

視線ベクトルに対して $(\text{IFOV} / 2 + \delta\theta)$ の角度をなすベクトル群 $\mathbf{E}_{S,i}$ ($i = 1 \sim 36$) (衛星座標系) は以下の式で表され、地表面との交点は 4.3.1 項と同様に求める。ここで、 $\mathbf{A}$ 、 θ_{AT} 、 θ_{CT} はそれぞれ FTS-2 L1B プロダクトに格納されている TANSO-FTS-2 光軸座標系から衛星座標系への座標変換行列、観測時刻におけるジンバル駆動角 AT 角、CT 角を表す。以下、特に断らない限りは角度の単位は radian に変換済みであるとして扱う。

$$\mathbf{E}_{S,i} = \mathbf{A} \cdot \left[-\mathbf{u}_i + 2(\mathbf{u}_i \cdot \mathbf{n}_{PM}) \mathbf{n}_{PM} \right] \quad (4.3.2-1)$$

$$\begin{aligned}\mathbf{n}_{PM} &= \begin{pmatrix} n_{PM,x} & n_{PM,y} & n_{PM,z} \end{pmatrix}^T \\ &= \mathbf{L}_{AT} \cdot \mathbf{L}_{CT} \cdot \mathbf{n}_{PM,0}\end{aligned}\quad (4.3.2-2)$$

$$\mathbf{E}_{S,i} = \begin{pmatrix} E_{Sx,i} \\ E_{Sy,i} \\ E_{Sz,i} \end{pmatrix} \quad (4.3.2-3)$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \quad (4.3.2-4)$$

$$\mathbf{L}_{AT} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{AT} & 0 & \sin \theta_{AT} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_{AT} & 0 & \cos \theta_{AT} \end{pmatrix} \quad (4.3.2-5)$$

$$\mathbf{L}_{CT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{CT} & -\sin \theta_{CT} \\ 0 & \sin \theta_{CT} & \cos \theta_{CT} \end{pmatrix} \quad (4.3.2-6)$$

$$\mathbf{n}_{PM,0} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}^T \quad (4.3.2-7)$$

$$\mathbf{u}_i = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{IFOV}{2} + \delta\theta\right) \\ \sin\left(\frac{IFOV}{2} + \delta\theta\right) \cos \frac{i\pi}{18} \\ \sin\left(\frac{IFOV}{2} + \delta\theta\right) \sin \frac{i\pi}{18} \end{pmatrix} \quad (4.3.2-8)$$

4.3.3 天頂角・方位角・鏡面反射-視野離角

天頂角・方位角・鏡面反射-視野離角は FTS-2 L1B プロダクトに格納されている見かけの太陽位置 (ECR)・衛星位置 (ECR) と 4.3.1 項において求められた FTS-2 視野中心位置 (測地座標系) を用いて以下の手順で求める。

- (1) FTS-2 視野中心位置 (測地座標系) を ECR へ座標変換する。
- (2) FTS-2 視野中心位置 (ECR) から太陽位置 (ECR) もしくは衛星位置 (ECR) へ向かうベクトルを求める。
- (3) (2) で求めたベクトルを FTS-2 視野中心位置 (測地座標系) で極座標系へ座標変換する。これにより得られた天頂角・方位角が求める角度となる。
- (4) (3) で求めた太陽天頂角・方位角、衛星天頂角・方位角を用いて鏡面反射-視野離角 (1.2 節 (5) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 雲識別処理 アルゴリズム基準書 では Cone

Angle と呼ばれている) を求める。

<測地座標系から ECR への座標変換>

測地座標系 (緯度 φ ・経度 λ ・楕円体高 H) と ECR (ECR_x, ECR_y, ECR_z) は式 (4.3.3-1) で関係づけられる。ここで、 a, e, f はそれぞれ地球楕円体の長半径、離心率、扁平率である。

$$\begin{cases} ECR_x = (N + H) \cos \varphi \cos \lambda \\ ECR_y = (N + H) \cos \varphi \sin \lambda \\ ECR_z = \{(1 - e^2)N + H\} \sin \varphi \end{cases} \quad (4.3.3-1)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (4.3.3-2)$$

$$e^2 = f \cdot (2 - f) \quad (4.3.3-3)$$

<ECR から極座標系への座標変換>

測地座標系 (緯度 φ ・経度 λ) における東方向・北方向・天頂方向の単位ベクトル $\mathbf{e}, \mathbf{n}, \mathbf{u}$ の ECR 表記を用いると、任意のベクトル (ECR) をこれらの成分に分解できる。

$$\begin{pmatrix} ECR_e \\ ECR_n \\ ECR_u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\cos \lambda \sin \varphi & -\sin \lambda \sin \varphi & \cos \varphi \\ \cos \lambda \cos \varphi & \sin \lambda \cos \varphi & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ECR_x \\ ECR_y \\ ECR_z \end{pmatrix} \quad (4.3.3-4)$$

これより極座標系 (r, θ, ϕ) へは式 (4.3.3-5) で座標変換される (図 4.3.3-1 参照)。ここで、 θ, ϕ がそれぞれ求めるべき天頂角、方位角である。なお、方位角は図で示すように北を起点 (0 度) とし、時計回りを正の角度 (東が 90 度) として定義する。

$$\begin{pmatrix} r \\ \theta \\ \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{ECR_e^2 + ECR_n^2 + ECR_u^2} \\ \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{ECR_u}{\sqrt{ECR_e^2 + ECR_n^2}} \\ \tan^{-1} \frac{ECR_e}{ECR_n} \end{pmatrix} \quad (4.3.3-5)$$

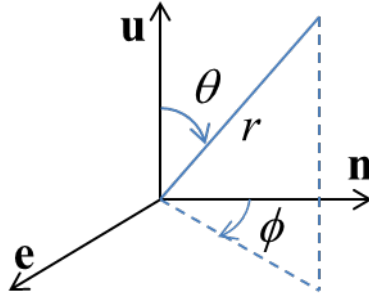


図 4.3.3-1 極座標系への座標変換。

< 鏡面反射・視野離角 >

鏡面反射・視野離角 θ_{CONE} は式 (4.3.3-6) で与えられる。ここで、 $\theta_0, \phi_0, \theta_1, \phi_1$ はそれぞれ上で求めた太陽天頂角、太陽方位角、衛星天頂角、衛星方位角である。

$$\theta_{CONE} = \cos^{-1} [\cos \theta_0 \cos \theta_1 - \sin \theta_0 \sin \theta_1 \cos(\phi_0 - \phi_1)] \quad (4.3.3-6)$$

4.3.4 放射伝達基準面と FTS-2 スキャンミラー反射基準面のなす角

放射伝達基準面は観測点から天頂方向へ向かうベクトルと観測点から衛星へ向かうベクトルを含む面である。但し、衛星が天頂にある場合は観測点から天頂方向へ向かうベクトルと観測点から太陽へ向かうベクトルを含む面となる。他方、FTS-2 スキャンミラー反射基準面は FTS-2 スキャンミラーに対する入射光と反射光を含む面である。なお、FTS-2 スキャンミラーで反射した光の進行方向は衛星座標系では常に一定である。

- (1) FTS-2 スキャンミラーにおける反射光の進行方向を表すベクトル $\mathbf{r} = (1, 0, 0)^T$ を、FTS-2 L1B プロダクトに格納されている FTS-2 光軸座標系から衛星座標系への座標変換行列、および、衛星座標系から ECR への座標変換行列を用いて座標変換し、さらに FTS-2 視野中心位置 (測地座標系) で極座標系へ座標変換する (4.3.3 項参照)。
- (2) 球面三角法の公式より、放射伝達基準面と FTS-2 スキャンミラー反射基準面とのなす角を求める (図 4.3.4-1 参照)。

$$\theta_{RT-PM} = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_2 - \cos \theta_1 \cos \Theta}{\sqrt{1 - \cos^2 \Theta} \sqrt{1 - \cos^2 \theta_1}} \right) \quad (4.3.4-1)$$

$$\cos \Theta = \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (4.3.4-2)$$

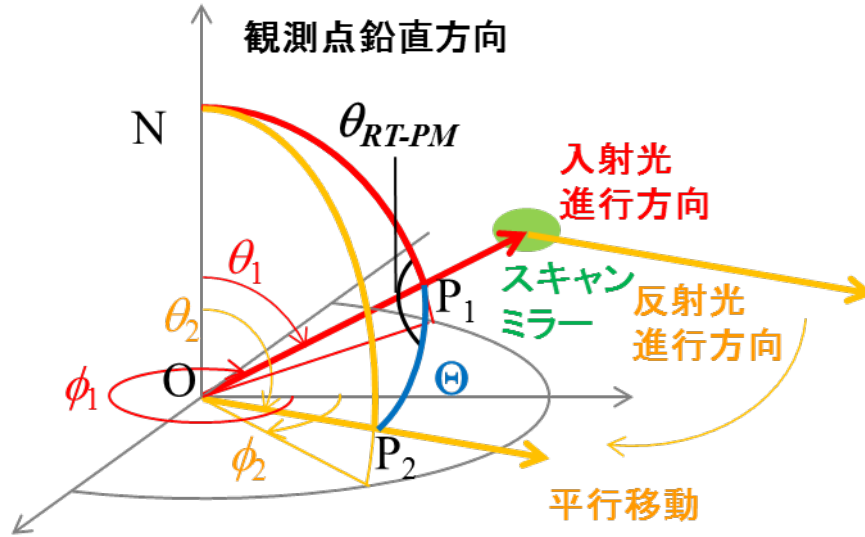


図 4.3.4-1 放射伝達基準面 (NOP₁) と FTS-2 スキャンミラー反射基準面 (P₁OP₂) とのなす角 θ_{RT-PM} 。

4.3.5 FTS-2 スキャンミラーにおける入射角、および、FTS-2 スキャンミラー反射基準面と FTS-2 検出器基準面のなす角

FTS-2 スキャンミラーにおける入射角は反射角と等しいため、反射光の進行方向を表すベクトルとスキャンミラーの法線ベクトルの内積から求めることができる。また、これらのベクトルの外積は FTS-2 スキャンミラー反射基準面の法線ベクトルとなる。FTS-2 検出器基準面は衛星座標系の X-Z 面であるから (反射光の進行方向 X 軸方向に対し、Z 軸方向の成分が P 偏光、Y 軸方向の成分が S 偏光となる)、FTS-2 スキャンミラー反射基準面と FTS-2 検出器基準面のなす角はそれらの法線ベクトルの内積から求めることができる。

FTS-2 スキャンミラーの法線ベクトル $\mathbf{n}_{PM}$ は、式 (4.3.2-2) で与えられる。これより、FTS-2 スキャンミラーにおける入射角 θ_m は、

$$\begin{aligned}
\theta_{in} &= \cos^{-1}(\mathbf{r} \cdot \mathbf{n}_{PM}) \\
&= \cos^{-1}(n_{PM,x})
\end{aligned} \tag{4.3.5-1}$$

FTS-2 スキャンミラー反射基準面と FTS-2 検出器基準面のなす角 θ_{PM-DET} は、

$$\begin{aligned}
\theta_{PM-DET} &= \cos^{-1} \left\{ \left(\frac{\mathbf{r} \times \mathbf{n}_{PM}}{|\mathbf{r} \times \mathbf{n}_{PM}|} \right) \cdot (0 \ 1 \ 0)^T \right\} \\
&= \cos^{-1} \left(\frac{n_{PM,z}}{\sqrt{1 - n_{PM,x}^2}} \right)
\end{aligned} \tag{4.3.5-2}$$

4.3.6 観測光偏光面と放射伝達基準面のなす角

図 4.3.6-1 より球面三角法の公式を用いて、観測光偏光面と放射伝達基準面のなす角 χ_{ss} を求める。ここで、 θ_0 , ϕ_0 , θ_1 , ϕ_1 はそれぞれ 4.3.3 項で求めた太陽天頂角、太陽方位角、衛星天頂角、衛星方位角である。

$$\chi_{ss} = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_0 + \cos \theta_1 \cos \Theta}{\sqrt{1 - \cos^2 \Theta} \sqrt{1 - \cos^2 \theta_1}} \right) \tag{4.3.6-1}$$

$$\cos \Theta = -\cos \theta_0 \cos \theta_1 + \sin \theta_0 \sin \theta_1 \cos(\phi_0 - \phi_1 + \pi) \tag{4.3.6-2}$$

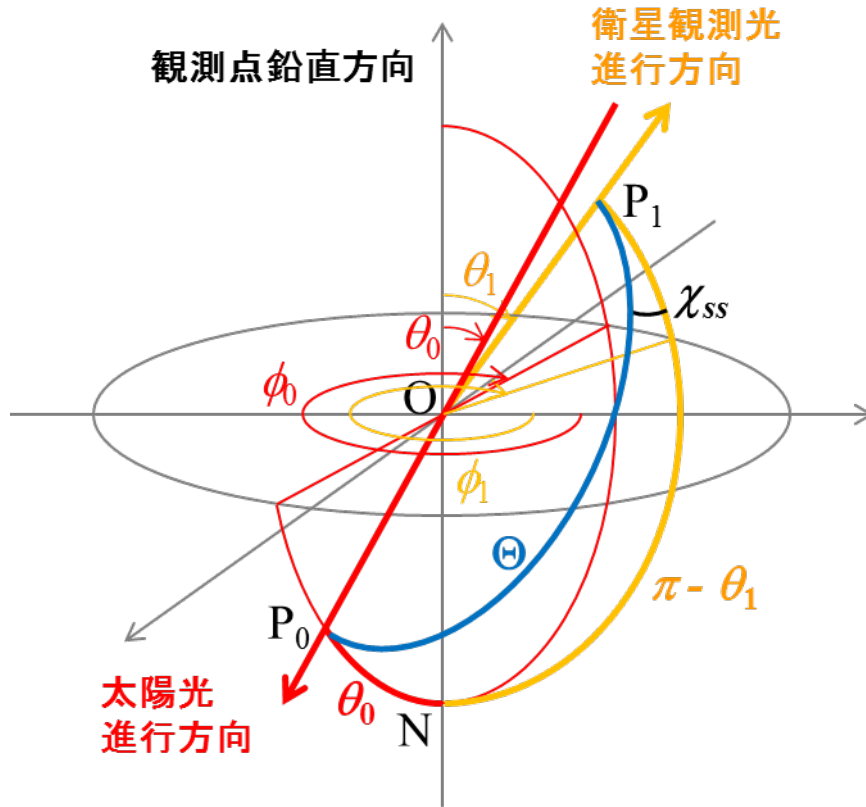


図 4.3.6-1 観測光偏光面 (P_0OP_1) と放射伝達基準面 (NOP_1) とのなす角 χ_{ss} 。

4.3.7 ドップラー速度

FTS-2 視野中心位置から見たドップラー速度は FTS-2 L1B プロダクトに格納されている太陽位置 (ECR)・太陽速度 (ECR)・衛星位置 (ECR)・衛星速度 (ECR) と上で求めた FTS-2 視野中心位置 (ECR) を用いて以下の手順で求める。この際、互いに近づく場合のドップラー速度を正とする。

- (1) 太陽位置 (ECR) もしくは衛星位置 (ECR) から FTS-2 視野中心位置 (ECR) へ向かう単位ベクトルを求める。
- (2) (1) で求めた単位ベクトルと太陽速度 (ECR) もしくは衛星速度 (ECR) との内積をとり、速度の動径成分を求める。

$$v_{dop} = \frac{\mathbf{v}_{target} \cdot (\mathbf{E}_{obs} - \mathbf{E}_{target})}{|\mathbf{E}_{obs} - \mathbf{E}_{target}|} \quad (4.3.7-1)$$

ここで、 $\mathbf{E}_{obs}$ は FTS-2 視野中心位置 (ECR)、 $\mathbf{E}_{target}$, $\mathbf{v}_{target}$ は太陽もしくは衛星の位置 (ECR) と速度 (ECR) を表す。

4.4 参照情報設定

FTS-2 L2 処理において使用される大気データや気体濃度データ、地表面データ、FTS-2 視野範囲内の雲識別情報などの参照情報を設定する。参照情報は物理量のみならず、陸海マスクや土地被覆分類などのカテゴリ情報も含まれる。用いる参照情報の空間解像度や種類に応じて、設定手法や設定内容が異なる。表 4.4-1 に参照情報データ別の処理区分を示す。なお、対応する情報が存在しない場合は無効値が設定される。

(a) 参照情報の空間解像度が FTS-2 視野範囲より十分小さい場合

この場合、FTS-2 視野範囲に複数（通常、数十～数百個）の参照情報データが含まれることになる。参照情報データが物理量の場合は、FTS-2 視野範囲に含まれる有効な参照情報データの平均値と標準偏差、最頻値を算出する。また、必要に応じて時間内挿処理を実施する。参照情報がカテゴリ情報の場合は、カテゴリ別頻度を集計する。

(b) 参照情報の空間解像度が FTS-2 視野範囲より十分大きい場合

この場合、FTS-2 視野範囲には必ずしも参照情報データが含まれるとは限らない。そのため、参照情報データに対して FTS-2 観測時刻・視野中心位置への時間内挿処理、および、空間内挿処理、もしくは最近隣グリッドデータの抽出を実施する。

時間・空間内挿処理は、時刻もしくは緯度・経度に対する線形内挿処理であり（式 4.4-1）、FTS-2 L1B プロダクトに格納されている FTS-2 観測時刻、もしくは 4.3.1 項で求めた FTS-2 視野中心位置に隣接する参照情報データを使用する。この際、高度分布の層数は源泉データに準ずるものとする。

$$x(s) = \left(\frac{s_1 - s}{s_1 - s_0} \right) x(s_0) + \left(\frac{s - s_0}{s_1 - s_0} \right) x(s_1) \quad (4.4-1)$$

ここで、 s は FTS-2 観測時刻もしくは FTS-2 視野中心位置の緯度・経度のいずれかを、 s_0, s_1 は $s_0 \leq s \leq s_1$ を満たす最近隣のグリッド、 x は内挿処理の対象となる参照情報データを表す。

ただし、JRA-55/JRA-3Q モデル格子データのモデル面解析値の比湿については、9.9999956E-13 [kg/kg] を無効値として扱う。時間・空間内挿処理に用いるグリッドの比湿の鉛直分布に無効値が含まれる場合は、無効値に近接する上下の有効な比湿データを用いて気圧に対して線形内挿した値に置き換えた上で、時間・空間内挿処理を実施する。なお、モデル面解析値の最下層の比湿が無効値の場合は、モデル面解析値の最も下層の有効な比湿データと地表面解析値の比湿データを用いて気圧に対して線形内挿した値に

置き換える。

また、地表面気圧、及び、地表面温度については JRA-55/JRA-3Q 地表面解析値ではなく、JRA-55/JRA-3Q モデル面解析値高度分布の時間・空間内挿結果から FTS-2 視野内平均高度に鉛直補間した結果で代替する。FTS-2 視野内平均高度が JRA-55/JRA-3Q モデル面解析値最下面のジオポテンシャル高度より低い場合、地表面気圧は JRA-55/JRA-3Q モデル面解析値の下から二面のジオポテンシャル高度を用いて、気圧の対数を線形外挿して求める。地表面気温は一定の気温減率 (-5 K/km) を仮定して最下面の値を外挿する。FTS-2 視野内平均高度が JRA-55/JRA-3Q モデル面解析値最下面のジオポテンシャル高度よりも高い場合は、気圧の対数・気温をスプライン補間により鉛直方向に内挿する。

03

表 4.4-1 参照情報データ別処理区分。

参照データ	FTS-2	時間	空間
数値標高データ	観測視野範囲	N/A	平均・標準偏差・最頻値
陸海マスク	観測視野範囲	N/A	カテゴリ集計
JRA-55/JRA-3Q	視野中心位置	内挿	内挿
分散・共分散行列データ (JRA-55/JRA-3Q)	視野中心位置	内挿	最近隣
NICAM-TM	視野中心位置	内挿	内挿
分散・共分散行列データ (NICAM-TM)	視野中心位置	内挿	最近隣
ACTM	視野中心位置	内挿	内挿
分散・共分散行列データ (ACTM)	視野中心位置	内挿	最近隣
CO 気候値 (濃度プロファイル)	視野中心位置	内挿	内挿
分散・共分散行列データ (CO 気候値)	視野中心位置	内挿	最近隣
SPRINTARS	視野中心位置	内挿	内挿
MODIS L3 MYD11A1	観測視野範囲	最近隣	平均・標準偏差・最頻値
MODIS L3 MCD12Q1	観測視野範囲	最近隣	カテゴリ集計
MODIS L3 MYD13Q1	観測視野範囲	最近隣	平均・標準偏差・最頻値
MODIS L3 MYD10C1	観測視野範囲	最近隣	平均・標準偏差・最頻値
MODIS L3 (SST)	観測視野範囲	最近隣	平均・標準偏差・最頻値
MODIS L3 MYD29P1D/1N	観測視野範囲	最近隣	平均・標準偏差・最頻値 カテゴリ集計
NOAA OISST (AVHRR-Only)	視野中心位置	同一日	内挿
NSIDC Data Set ID: G02135	視野中心位置	同一日	内挿 (物理量) 最近隣 (カテゴリ情報)

03

03

NSIDC Data Set ID: NISE	視野中心位置	同一日	内挿 (物理量) 最近隣 (カテゴリ情報)
CAI-2 L1B プロダクト ¹⁾	拡大視野範囲	同一パス	平均・標準偏差・最頻値
CAI-2 植生指数 ^{1) 2)}	観測視野範囲	同一パス	平均・標準偏差・最頻値
CAI-2 L2 雲識別プロダクト ¹⁾	拡大視野範囲	同一パス	カテゴリ集計
CAI-2 L2 エアロソル特性プロダクト ¹⁾	観測視野範囲	同一パス	平均・標準偏差・最頻値

1) 日照観測時のみ設定される。

2) CAI-2 植生指数は CAI-2 L2 事前処理結果 (地表面アルベド) から計算される。4.4.3 項参照。

4.4.1 圏界面高度の算出

FTS-2 視野中心位置に内挿された大気データを用いて下記の 2 種類の方法で圏界面高度を算出する。

<気温減率法>

500 hPa ジオポテンシャル高度から 50 hPa ジオポテンシャル高度の範囲内で、気温減率が 2 K/km となる高度範囲が 1 km 以上続く場合、その最下層高度を圏界面高度 (気温減率法) とする。この条件を満たさない場合、200 hPa ジオポテンシャル高度を圏界面高度 (気温減率法) とする。

実際の処理では 10 m 刻みでスプライン補間された気温高度分布データを用いて気温減率を計算し、条件判定を実施する。

<最低温度法>

500 hPa ジオポテンシャル高度から 50 hPa ジオポテンシャル高度の範囲内で、気温が最低となる高度を圏界面高度 (最低温度法) とする。

実際の処理では 0.1 hPa 刻みでスプライン補間された気温高度分布データを用いて条件判定を実施する。

4.4.2 重力の算出

FTS-2 視野中心位置に内挿されたジオポテンシャル高度と緯度を用いて、重力を算出する。

重力ポテンシャル U は、地心からの距離 r と極角 θ を用いて、式 (4.4.2-1) で表される。

$$U(r, \theta) = -\frac{GM}{r} \left[1 - J_2 \left(\frac{a}{r} \right)^2 \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) \right] - \frac{1}{2} r^2 \omega^2 \sin^2 \theta \quad (4.4.2-1)$$

ここで、 a は地球楕円体の長半径、 GM は地心重力定数、 ω は地球の自転角速度、 J_2 は力学的形状係数である。

任意の楕円体高 H における鉛直下向きの重力 g は、 r, θ の代わりに H, ϕ を独立変数とすることで、式 (4.4.2-2) で表される (図 4.4.2-1)。

$$g = -g_H = \frac{\partial U(H, \phi)}{\partial H} = -g_r \cos(\phi - \theta) + g_\theta \sin(\phi - \theta) \quad (4.4.2-2)$$

$$g_r = -\frac{\partial U(r, \theta)}{\partial r} = -\frac{GM}{r^2} \left[1 - 3J_2 \left(\frac{a}{r} \right)^2 \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) \right] + r\omega^2 \sin^2 \theta \quad (4.4.2-3)$$

$$g_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \theta)}{\partial \theta} = \frac{GM}{r^2} 3J_2 \left(\frac{a}{r} \right)^2 \sin \theta \cos \theta + r\omega^2 \sin \theta \cos \theta \quad (4.4.2-4)$$

$$r = \sqrt{X^2 + Z^2} \quad (4.4.2-5)$$

$$X = (N + H) \cos \phi \quad (4.4.2-6)$$

$$Z = [N(1 - e^2) + H] \sin \phi \quad (4.4.2-7)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{Z}{X} \quad (4.4.2-8)$$

ここで、 N, e については式 (4.3.3-2)、式 (4.3.3-3) を参照のこと。

ジオポテンシャル高度 z はジオポテンシャルと標準重力加速度 g_0 を用いて式 (4.4.2-9) で表されるため、各層のジオポテンシャル高度に対応する鉛直下向きの重力を数値的に求めることができる。

$$z = \frac{U(r, \theta)}{g_0} \quad (4.4.2-9)$$

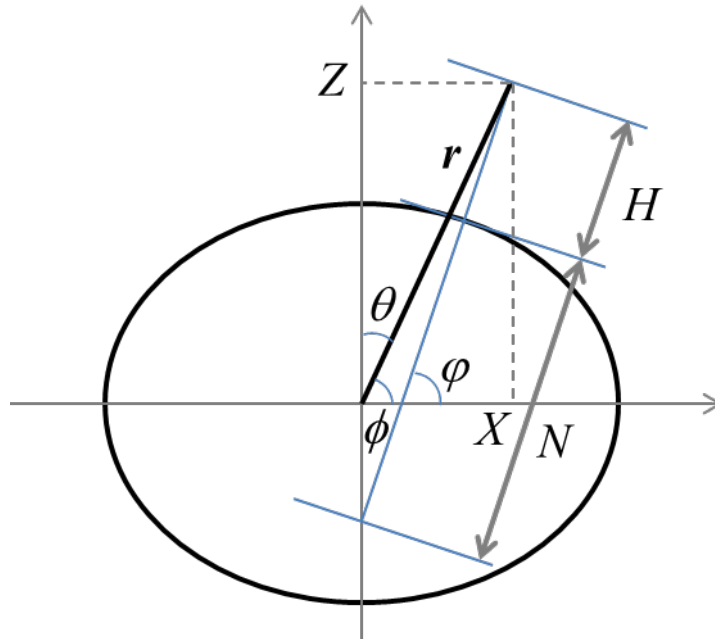


図 4.4.2-1 地球楕円体。

4.4.3 CAI-2 植生指数 (日照部のみ実施)

CAI-2 L2 事前処理において算出される CAI-2 地表面アルベド A_g を用いて CAI-2 植生指数を視線方向別に算出する。 A_g の算出方法については、1.2 節 (4) GOSAT-2 TANSO-CAI-2 L2 Pre-processing Algorithm Theoretical Basis Document を参照のこと。

$$NDVI_{CAI-2, FWD/BWD} = \frac{A_{g, BAND4/9} - A_{g, BAND3/8}}{A_{g, BAND4/9} + A_{g, BAND3/8}} \quad (4.4.3-1)$$

ここで、添え字 FWD/BWD は CAI-2 の視線方向を表し、それぞれ CAI-2 BAND 3, 4、BAND 8, 9 を用いて計算する。

式 (4.4.3-1) で求めた CAI-2 植生指数に対して、FTS-2 観測視野範囲内の平均値・標準偏差・最頻値を CAI-2 視線方向別に求める。

4.4.4 CAI-2 雲判定 (日照部のみ実施)

設定された CAI-2 情報に基づき、FTS-2 拡大視野範囲内への雲の混在の有無を判定する。ここでは個別の判定手法について記載し、後続の処理でこれらの判定結果をどのように複合的に用いるかについては個別のアルゴリズム基準書に記載される。

<CAI-2 L2 雲識別プロダクト>

CAI-2 L2 雲識別プロダクトを用いて FTS-2 拡大視野範囲内の雲判定を行う。CAI-2 L2 雲識別プロダクトは前方視・後方視別に存在し、CAI-2 の各ピクセルに対し、総合晴天信頼度 Q が付与されている。

FTS-2 L2 事前処理では、FTS-2 拡大視野範囲に含まれる CAI-2 L2 雲識別プロダクトの各ピクセルの総合晴天信頼度 Q を、雲状態ビットフィールドと同じ 16 段階に分別し、視線方向別・各範囲別にピクセル数を集計する ($N_{CLDD,FWD/BWD,i}$; $i = 0 \sim 15$)。式 (4.4.4-1) を満たした場合、FTS-2 拡大視野範囲内に雲が混在していたと判断する。積算するカテゴリの範囲を表すパラメータ M_{CLDD} と閾値 VAL_{CLDD} を表 4.4.4-1 に示す。

$$\frac{\sum_{i=0}^{M_{CLDD}} N_{CLDD,FWD/BWD,i}}{N_{TOTAL,FWD/BWD}} > VAL_{CLDD} \quad (4.4.4-1)$$

ここで、 $N_{TOTAL,FWD/BWD}$ は FTS-2 拡大視野内に含まれる前方視 (FWD)・後方視 (BWD) の CAI-2 ピクセル総数。

なお、式 (4.4.4-1) の判定結果は CAI-2 前方視・後方視それぞれで得られるが、CAI-2 L2 雲識別プロダクトが海上のサングリント領域周辺で雲識別精度が低下する可能性を考慮し、最終的な雲判定に用いる CAI-2 視線方向は下記の通りとする。

FTS-2 拡大視野範囲内にサングリントの影響により雲識別精度が低下した CAI-2 ピクセルが含まれる場合、より影響の小さい視線方向として、式 (4.4.4-2) の値が小さい視線方向を選択する。比較に際しては、Cone Angle 範囲インデックスを Cone Angle が小さい方 ($i = 7$) から $M_{CONE,max}$ まで順に比較し、式 (4.4.4-2) の値に差異が生じた時点で判断を行う。

$$\frac{N_{CONE,FWD/BWD,i}}{N_{TOTAL,FWD/BWD}} \quad (4.4.4-2)$$

ここで、 $N_{CONE,FWD/BWD,i}$ ($i = 0 \sim 7$) は視線方向別、Cone Angle 範囲別の CAI-2 海ピクセル数で、雲状態ビットフィールドと同じ区分を用いる。 $M_{CONE,max}$ はサングリントの影響により雲識別精度の低下がみられる最大の Cone Angle を含む Cone Angle 範囲インデックス。

それ以外の場合、FTS-2 視野中心位置に最も近い CAI-2 ピクセルの観測時刻と FTS-2 の観測時刻差が短い視線方向を選択する。

表 4.4.4-1 CAI-2 L2 雲識別プロダクトによる FTS-2 拡大視野範囲内雲状況判定条件。

M_{CLDD}	VAL_{CLDD}	$M_{CONE,max}$
4 ($Q < 0.34$)	0.01	3 (Cone Angle < 35 deg.)

<CAI-2 L1B プロダクト>

CAI-2 L2 雲識別プロダクトは CAI-2 のサブピクセルサイズの雲を検出できない可能性がある。そこで、FTS-2 拡大視野範囲内に含まれる CAI-2 ピクセルのバンド別輝度の平均値 I_{AVG} ・標準偏差 I_{STD} を指標に FTS-2 拡大視野範囲内への雲の混在有無を判定する。ただし、CAI-2 の輝度は雲の有無のみならず、地表面の反射率にも依存するため、本判定は反射率の空間一様性が比較的高い海上を対象とする。すなわち、 I_{AVG} 、 I_{STD} は海上の CAI-2 ピクセルのみを対象として計算する。判定は式 (4.4.4-3) を満たした場合に FTS-2 拡大視野範囲内に雲が存在すると判断し、地表面の影響を受けにくい CAI-2 Band 1, 6 を用いる。

$$\frac{I_{STD,i} + OFFSET_i}{I_{AVG,i}} > VAL_{COHERENT,i} \quad (4.4.4-3)$$

ここで、 i は CAI-2 のバンドを表す。OFFSET, $VAL_{COHERENT}$ の値は表 4.4.4-2 を参照。

式 (4.4.4-3) による判定結果は CAI-2 前方視・後方視それぞれで得られるが、FTS-2 拡大視野範囲内に含まれる CAI-2 ピクセル総数に対する CAI-2 陸ピクセル数の割合 F_{LAND} を考慮し、最終的な雲判定に用いる CAI-2 視線方向は下記の通りとする。

CAI-2 前方視・後方視のいずれか一方の F_{LAND} が閾値 $F_{LAND,max}$ 以下の場合、その視線方向を採用する。両視線方向の F_{LAND} が閾値以下の場合、FTS-2 視野中心位置に最も近い CAI-2 ピクセルの観測時刻と FTS-2 の観測時刻差が短い視線方向を採用する。両視線方向の F_{LAND} が閾値を超えた場合は本判定の適用外とする。

表 4.4.4-2 CAI-2 L1B プロダクトによる FTS-2 拡大視野範囲内雲状況判定条件。

バンド	OFFSET	$VAL_{COHERENT}$	$F_{LAND,max}$
1	-0.25	0.0020	0.0
6	-0.25	0.0035	

4.4.5 FTS-2 2 μ m 帯雲判定 (日照部のみ実施)

FTS-2 Band 3 (2 μ m 帯) にある水蒸気の飽和吸収域を利用した簡易的な雲判定を実施する。FTS-2 Band 3 の観測輝度スペクトルは SWIR 固有ファイルにのみ格納されているため、本判定は日照域でのみ実施される。

水蒸気は一般に大気下層に豊富に存在するため、晴天時に衛星が観測する水蒸気飽和吸収域の輝度は極めて小さい。上空に雲などの散乱物質が存在した場合、水蒸気による吸収を受ける前に光が散乱されることで、衛星が観測する輝度は大きくなる。FTS-2 2 μm 帯雲判定はこの性質を利用した判定である。本判定は大気上層に高い感度を有するため、CAI-2 L2 雲識別プロダクトでは検出が難しい光学的に薄い巻雲も検出可能である。他方、大気下層に存在する雲に対しては感度が小さいため見落とす可能性が大きい。光学的に厚い場合には CAI-2 L2 雲識別プロダクトにより検出可能であり、相補的な関係にある。

FTS-2 L1B プロダクトに格納されている FTS-2 Band 3 の観測輝度スペクトルのうち、水蒸気による非常に強い吸収が見られる波数点を抽出し、偏光成分別にノイズレベルで規格化した輝度の平均値・標準偏差を求める。ノイズレベルで規格化した輝度の平均値・標準偏差のいずれかが閾値よりも大きい場合、雲が存在した、と判定する。ノイズレベルは FTS-2 L1B プロダクトに格納されている観測輝度スペクトルと SNR から算出する(式 4.4.5-1)。使用する波数域を表 4.4.5-1 に、閾値を表 4.4.5-2 に示す。

なお、FTS-2 L1B プロダクトに格納されているスペクトルデータの開始波数・波数間隔はノミナル値であり、実際には若干の変動があることが想定される。また、水蒸気の吸収線位置も衛星・観測点位置の位置関係に応じてドップラー変位の影響を受ける。但し、ここではこれらによる波数軸の変動幅はスペクトルデータの波数間隔と比べて十分小さいと仮定し、FTS-2 L1B プロダクトの格納値をそのまま使用する。

$$NoiseLevel_{P/S} = \frac{Max(S_{P/S})}{SNR_{P/S}} \quad (4.4.5-1)$$

ここで、添え字 P/S は各偏光成分を、 S [V/cm^{-1}] は観測輝度スペクトルを表す。 $Max(S)$ は観測輝度スペクトルの帯域内最大値を表す。

表 4.4.5-1 FTS-2 2 μm 帯雲判定で用いる波数域。

開始波数	終了波数
5184.4 cm^{-1}	5184.5 cm^{-1}
5188.6 cm^{-1}	5189.6 cm^{-1}
5196.4 cm^{-1}	5197.8 cm^{-1}

表 4.4.5-2 FTS-2 2 μm 帯雲判定で用いる閾値。

	P 偏光成分	S 偏光成分
平均値	1.5	1.5
標準偏差	1.4	1.4

4.5 処理結果出力

以上の処理結果のうち、3.2 節 出力データに示したものを HDF5 形式のファイルとして出力する。

5. 前提条件・制約事項

参照データの入手先 URL に各源泉データのバージョンが含まれる場合、それは 2020 年 10 月に取得可能であったバージョンを表し、処理に使用したバージョンとは限らない (3.3 項)。

FTS-2 L2 事前処理では、FTS-2 視野範囲を 10° 刻みで与えられる 36 角形で近似している (4.3.2 項)。

CAI-2 L1B プロダクトを利用した FTS-2 拡大視野範囲内の雲判定処理は、FTS-2 拡大視野範囲内の陸率が閾値以下の場合のみ実施し、それ以外の事例は『適用外』として扱う (4.4.4 項)。

FTS-2 L2 事前処理では、FTS-2 L1B プロダクトに格納されているスペクトルデータに対し、波数軸補正は実施していない (4.4.5 項)。

表 4.4.4-1, 4.4.4-2, 4.4.5-1, 4.4.5-2 に示した雲判定に用いる係数・閾値等は暫定的な値であり、衛星打上後に実データをもとに調整を行う。

6. 参考文献

なし。