



全球降水観測計画「GPM」のプロダクト バージョンアップについて

宇宙航空研究開発機構(JAXA) 地球観測研究センター(EORC)

全球降水観測計画(GPM)とは



地上の降水観測網は地球規模では十分にカバーできておらず (e.g., Kidd et al. 2016) 、全球降水観測には衛星観測が 唯一の手段。GPMは1機の主衛星とコンステレーション衛星群により、頻度の高い全球の降水観測を実現 (Hou et al. 2014, Skofronick-Jackson et al.2017) 。JAXAは情報通信研究機構(NICT)と共同で二周波降水レーダ(DPR)を開発 (Kojima et al. 2012, Iguchi 2020) し、主衛星・コンステレーション衛星群に搭載するマイクロ波放射計データ(頻度・ 観測範囲が広いが、精度が劣る)による降水量推定精度を高めた。



プロダクト提供の実績



| 日時 | イベント |
|----------|--|
| 2014年09月 | 潜熱プロダクトを除く、全標準プロダクト一般提供開始(バージョン3) |
| 2016年03月 | DPRプロダクト(L1B, L2, L3)のバージョン4プロダクト とDPR潜熱(SLH)の一般提供開始 |
| 2017年01月 | GSMaPプロダクト(L3)のバージョン4プロダクトの一般提供開始 |
| 2017年05月 | DPRプロダクト(L1B, L2, L3)のバージョン5プロダクト の一般提供開始 |
| 2017年07月 | DPR潜熱(SLH)のバージョン5プロダクトの一般提供開始 |
| 2017年10月 | TRMM/PRバージョン8(L1)の一般提供開始 |
| 2018年7月 | TRMM/PRバージョン8(L2, L3)、TRMM/PR潜熱プロダクトの一般提供開始 |
| 2018年10月 | DPRプロダクト(L2, L3)のバージョン6プロダクト/一般提供開始 DPR潜熱(SLH)のバージョン6プロダクトの一般提供開始 |
| 2020年6月 | DPR研究プロダクト(バージョン06X)のリリース |
| 2021年12月 | DPRプロダクト(L1, L2, L3)・DPR潜熱(SLH)のバージョン7プロダクトの一般提供開始 GSMaPプロダクト(L3)のバージョン4プロダクトの一般提供開始 |

DPRプロダクトの特徴と研究成果例



P4

観測領域を全球に拡大

●世界初の衛星による中高緯度の3次元降水観測を実現。
 ⇒熱帯と中緯度の降水特性の違い(Kobayashi et al. 2018、Hirose et al. 2020)、中緯度での潜熱加熱手法の確立(Takayabu et al. 2017)、気象予測の精度の向上(気象庁、Ikuta et al. 2020)や
 全球降水マップGSMaPの降水推定手法の改良(Kubota e al. 2020)
 等に役立った。

2つの周波数による観測

- 同じ雨を2つの周波数で観測することにより降水の推定精度ならびに感度を向上。
- 2周波による雨滴粒径分布(DSD)推定手法や固体降水 推定の開発やその利用。

⇒DSD推定手法の開発(Seto et al. 2020)やDSD 季節変化の解析 (Yamaji et al. 2020)、中緯度の降水タイプ分類(Awaka et al. 2016, 2020)、固体降水の解析(Iguchi et al. 2019, Akiyama et al. 2019)

DPRによる台風の3次元観測





DPRプロダクトの主要変更点(1/3)



- 2018年5月21日に、KaPRのスキャンパターン 変更を実施。
 - KaHSをKuNSの外側ビームに合わせ、スキャン幅全体で二周波アルゴリズムの適用を可能とする。
 - ▶ 2018/05/21 17:13UTC(軌道番号24021)からス キャン変更後の有効データが含まれている
- 2020年6月より、KaPRスキャンパターン変更 に対応したGPM/DPR研究プロダクト(バー ジョン06X)のリリースを開始。
- →V06Xは2018年10月に提供を開始したV06Aベースの研究プロダクト
 2021年12月から提供するバージョン7では、スキャンパターンに対応した初の標準プロダクトとなる。





DPRプロダクトの主要変更点(2/3)



KaPRスキャンパターン変更に伴うDPRフォーマットの変更

- KaHSをKuNSの外側ビームに合わせるようにスキャンパターン変更をしたことに対応し、DPR-L2プロダクトでは"FS" をSwathNameとして導入することで、スキャンパターン変更前後の両方の時期に対応する、統一的なフォーマット を実現。
- それに対応して、DPR-L1ではNSをFSとSwathNameを変更
 - 🌸 DPR-L1では、"V05" KuPR: NS, KaPR: MS, HS→"V07" KuPR: FS, KaPR: MS, HSと、KaPRのMSを維持。



DPRプロダクトの主要変更点(3/3)



<u>V06からV07へのDPR-L2/L3プロダクトの主な変更点</u>

- KaPRスキャンパターン変更に伴うDPRフォーマットの変更
- 降水判定手法の改良
 - ✓ サイドローブクラッタ軽減手法の導入
 - ✓ 3次元(3D)降水判定手法の導入
- 降水タイプ分類手法の改良
- 降水推定手法の改良
 - ▲ アルゴリズムで仮定する降水強度と平均粒径の関係式(R-D_m関係) の改良
 - ✓ 雨滴粒径分布DSDデータベースの更新
 - ✓ DSDに関するパラメータであるεの鉛直分布推定
 - ✓ 土壌水分効果を考慮した表面参照法の補正

→一周波アルゴリズムの陸上で降水量が増加(約20%程度)

背の低い降水システムの検出向上
 中高緯度で手法の改良効果が顕著

Appendix Aに概要紹介有り

DPR潜熱 (SLH) プロダクトの主要変更点 (1/2)

SLHDPR潜熱(Spectral Latent Heating Algorithm; 以下SLH) プロダクト

について (日米両方で処理)

- V04: TRMM/PR 潜熱プロダクトV7用のアルゴリズムをベースにDPRに適用 熱帯・亜熱帯タイプの降水の潜熱加熱率を推定
 - V05:領域を中高緯度に拡張させ、中緯度タイプ降水の潜熱加熱率を新たに推定
- V06: 改良されたKuPRプロダクトを入力としてLHを推定
- V07: 熱帯・中緯度アルゴリズムの改良、 これまで欠損としていた高原・斜面域のLH推定手法の開発

プロダクト種類

- レベル2:潜熱加熱率軌道データ(準標準プロダクト)
- レベル3:潜熱加熱率0.5度格子軌道データ
- レベル3: 潜熱加熱率0.5度格子日平均・月平均プロダクト

プロダクト仕様

レベル2:水平分解能5km、鉛直80層 レベル3:水平分解能0.5度、鉛直80層 Takayabu and Tao, 2020: Latent heating retrievals from satellite observations. <u>https://doi.org/10.1007/978-3-030-35798-</u> <u>6_22</u>

DPR潜熱 (SLH) プロダクトの主要変更点 (2/2)





月毎の降水レジーム分類データベースを用いて対応するタイプのテーブルを適用

^{V07で} 改良 **熱帯・亜熱帯域** ゴダード雲アンサンプルモデル(GCE) 対流性・深い/浅い層状性降雨についての 降雨-潜熱加熱率テーブルを、TOGA-COARE(地上観測)データを外力とした GCEによる熱帯海洋上降水システムのシ ミュレーションから作成。TRMM時代に開 発したものをGPM/KuPRに適用している。 2007で 改良 **中緯度域** 気象庁局地数値予報モデル(LFM) LFMで再現された8つの温帯低気圧事例か ら、対流性・深い/浅い層状性降雨につい ての、中高緯度用降雨-潜熱加熱率テーブ ルをV5から新たに作成。熱帯と異なり中 高緯度では、雲底高度と0℃高度の関係性 が異なることから、深い層状性については それぞれ場合分けしてテーブルを作成。



WRFによるチベット高原域降水システムのシミュレーションから、対流性・深い/浅い 層状性降雨についての、高原・斜面域用降雨-潜熱加熱率テーブルを新たに作成。対流 性と浅い層状性については、鉛直構造が異なる高原域と斜面域に分けてテーブルを作 成。深い層状性については、中緯度域の場合分けにならっているが、山岳域で地表面 クラッターが高いことを考慮し、0度高度から1.5km下層の降雨強度を地表近くの降雨 強度の代わりに参照している。なお、今回はLHのみ出力し、Q1-QrとQ2は出力しない。



Appendix : DPR-L2/L3の主要変更点



DPR-L2/L3改訂点(1/7)







DPR-L2/L3改訂点(3/7)



- 降水タイプ分類手法の改良(阿波加)
- (1)ブライトバンド(BB)の検出手法に気温逆転の情報(VERモジュール出力)を 使用
- (2) 3 D降雨判定により、各降水タイプ(対流性、層状性、その他)の個数が大きく 変化したため、「その他」の<mark>降水タイプ判定の見直し</mark>
- (3)コロラド州立大学で開発している雹に関するフラグであるflagHail をCSFモジュ ールの標準出力に追加。
 - flagHailの参考論文
 - Le, M. and V. Chandrasekar, 2021: Graupel and hail identification algorithm for the Dual-Frequency Precipitation Radar (DPR) on the GPM core satellite. J. Meteor. Soc. Japan, 99, 49-65. <u>https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-003</u>

DPR-L2/L3改訂点(4/7)



P14

- 降水推定手法の改良(瀬戸)
 - アルゴリズムで仮定する降水強度と平均粒径の関係式(R-D_m関係)の改良
 - 雨滴粒径分布DSDデータベース(εの事前確率分布)の更新
 - 二周波プロダクトの結果からデータベースを作成し、一周波アルゴリズム用で利用(→
 - 二周波情報を一周波アルゴリズムに活用)
 - DSDに関するパラメータであるεの鉛直分布推定
 - 🌸 二周波アルゴリズムのみ
 - 一周波アルゴリズムは従来通りεは鉛直一定。

Conv. (V06) *p*=1.370, *q*=5.420, *r*=4.258 Strat. (V06) *p*=0.401, *q*=6.131, *r*=4.622

Conv. (V07) p=0.392, q=6.131, r=4.815 Strat. (V07) p=0.392, q=6.131, r=4.815 *In V07, the coefficients and the definition of ε is same for convective and stratiform



εの鉛直分布推定 (2周波アルゴリズムのみ)

(V06) ε is vertically constant and depend on the storm top height.

DPR-L2/L3改訂点(5/7)

降水推定手法の改良(瀬戸)

土壌水分効果を考慮した表面参照法の補正

◎一周波アルゴリズムの陸上のみ。降雨時の表層土壌水分増加により表面参照法がPIAが 過小評価している点を補正する。

土壌水分効果について

- 陸上において、降雨域付近の & は非降雨域の & 比べて高い傾向がある。この現象はTRMM/PRで発見され(Seto and Iguchi, 2007)、土壌水分効果と呼ばれている。KuPRとKaPRでも確認済み。
- V07では、一周波アルゴリズムの陸上において、土 壌水分効果を考慮してPIAを補正する。PIAの補正は、 地域、入射角、降水強度の第一推定に依存(Fig.1)
 本補正により、降水強度の最終推定値がKuPRで約 18%増加する(Fig. 2)。



DPR-L2/L3改訂点(6/7)



 * V07では、Dr. Tanelli (NASA/JPL)の開発により、Trigger module (TRG)に、多重散乱 (MS)と非一様性(NUBF)に関する推定量が追加された。

■ この推定量は、二周波プロダクトのFSのみ

| No | Group name | Variables | type | byto i | unit | SWATH NAME = FS | | | | | SWATH NAME = HS | | | |
|----|------------|----------------------|--------------------------|--------|------|-----------------|------|------|-------|-------|-----------------|------|------|-------|
| | Group hame | Variables | суре | Dyte | unit | nScan | nRay | nBin | other | nFreq | nScan | nRay | nBin | other |
| 1 | TRG | MSbreakpoints | 16-bit integer | 2 | | 7900 | 49 | 1 | 13 | 1 | | | | |
| 2 | TRG | MSindex | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 3 | TRG | MSindexKa | 8-bit signed character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 4 | TRG | MSindexKu | 8-bit signed character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 5 | TRG | MSkneeDFRindex | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 6 | TRG | MSlowSNRrangeFilter | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 4 | 1 | | | | |
| 7 | TRG | MSslopeFits | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 6 | 1 | | | | |
| 8 | TRG | MSslopePoints | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 13 | 1 | | | | |
| 9 | TRG | MSslopes | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 10 | 1 | | | | |
| 10 | TRG | MSsurfPeakIndexKa | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 11 | TRG | MSsurfPeakIndexKu | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 12 | TRG | MSthroughsurfIndexKa | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 13 | TRG | MSthroughsurfIndexKu | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 14 | TRG | MSthrZindex | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 15 | TRG | NUBFcorrPIA | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 2 | 1 | | | | |
| 16 | TRG | NUBFindex | 32-bit floating-point | 4 | - / | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 17 | TRG | NUBFnZkVarIndex | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 3 | 1 | | | | |
| 18 | TRG | NUBFnZkVarScaling | 16-bit integer | 2 | _/ | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 19 | TRG | NUBFnZmVarIndex | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 3 | 1 | | | | |
| 20 | TRG | NUBFnZmVarScaling | 16-bit integer | 2 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 21 | TRG | NUBFprofZPC | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 30 | 1 | | | | |
| 22 | TRG | NUBFratioPIAindex | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 23 | TRG | NUBFsurfSliceIndex | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 30 | 1 | | | | |
| 24 | TRG | precipFrac | 8-bit unsigned character | 1 | | 7900 | 49 | 1 | 3 | 1 | | | | |
| 25 | TRG | RNUBFcond | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 26 | TRG | triggerParameters | 32-bit floating-point | 4 | | 7900 | 49 | 1 | 8 | 1 | | | | |

P16

DPR-L2/L3改訂点(7/7)



- GPM/DPRやTRMM/PRは、地表面によるクラッターの影響で、降水強度が分かるのは、地表近傍までで、地表面までは、どのように変化しているかは観測できない。
- Estimated surface precipitation rate (precipRateESurface)では、クラッタ領域のZ_eはクラ ッタフリーボトムのZ_eと同じと仮定して算出(Seto et al. 2021)
- NO7では、 Estimated surface precipitation rate 2 (precipRateESurface2) として、Lowlevel precipitation profile (LPP) database (Hirose et al. 2021)に基づき、地表降水強度を 算出(ただし、Experimental枠の変数)。

Hirose et al., 2021: Refinement of surface precipitation estimates for the Dual-frequency Precipitation Radar on the GPM Core Observatory using near-nadir measurements, J. Meteor. Soc. Japan https://doi.org/10.2151/j msj.2021-060



Hirose et al. (2021)の結果から、 高緯度の観測幅端の地表降水推 定に、 precipRateESurface2の補正 効果がより大きいことがわかっ ている。

DPR-L2/L3プロダクト評価結果(1/2)

DPR President Case

- 2014年7月の期間の試験処理結果では V07は、V06Aと比較して、 Unconditional meanで下記の傾向
 - 海上は、V06Aと比べて、単センサは約5%の 減少、2周波が約1%の増加。
 - 陸上は、単センサで14~23%の増加、2周波 (DPRMS)は約4%の増加。



precipRateESurface

Inner swath

Red:DPR Green:KuPR

Filled Circle: 07X Open Circle: 06A



| 2014年7月のV06AとV07の比較 | 較、ならびに、 |
|---------------------|---------|
| V06XとV07の比較表 | |
| (センサ種別や、陸+海上、 | 海上のみ、陸の |
| み、で区別して評価) | |

precipRateESurface (July 2014)

| 2014/7 | rain [mm/month] | | | | | | | |
|--------------|------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|
| 35N-35S | DPR | 06A | 07X_20210312 | 07X_20210415 | 07X_20210709 | | | |
| | Ku | 06A | 07X_20210312 | 07X_20210415 | 07X_20210709 | | | |
| | Ka | 06A | 07X_20210312 | 07X_20210415 | 07X_20210709 | | | |
| | PR | 06A | N/A | N/A | N/A | | | |
| rain @ eSurf | | | | | | | | |
| Land+Ocean | DPRMS | 97.03 | 93.32 | 86.77 | 98.17 | | | |
| | DPRHS | 70.41 | 72.12 | 70.28 | 71.47 | | | |
| | DPRNS (or DPRFS) | 88.93 | 84.71 | 79.50 | 88.45 | | | |
| | KuMS | 86.03 | 82.27 | 78.31 | 85.85 | | | |
| | KuNS (or KuFS) | 83.29 | 79.08 | 75.18 | 82.17 | | | |
| | KaMS | 69.70 | 68.77 | 66.83 | 68.20 | | | |
| | KaHS | 70.93 | 70.40 | 68.68 | 69.85 | | | |
| | KaFS | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | | | |
| | PRMS | 82.09 | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | | | |
| | PRNS (or PRFS) | 80.04 | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | | | |
| Ocean | DPRMS | 105.17 | 100.51 | 93.79 | 105.92 | | | |
| | DPRHS | 78.97 | 77.55 | 75.83 | 77.25 | | | |
| | DPRNS (or DPRFS) | 97.41 | 90.45 | 85.09 | 94.75 | | | |
| | KuMS | 93.15 | 83.38 | 80.09 | 88.00 | | | |
| | KuNS (or KuFS) | 91.25 | 81.71 | 78.10 | 85.61 | | | |
| | KaMS | 77.27 | 73.53 | 71.62 | 73.18 | | | |
| | KaHS | 79.12 | 75.48 | 73.86 | 75.25 | | | |
| | KaFS | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | | | |
| | PRMS | 90.14 | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | | | |
| | PRNS (or PRFS) | 88.64 | -9999.00 | -99999.00 | -9999.00 | | | |
| Land | DPRMS | 66.33 | 65.81 | 60.21 | 68.85 | | | |
| | DPRHS | 40.30 | 51.03 | 49.03 | 49.48 | | | |
| | DPRNS (or DPRFS) | 58.89 | 62.62 | 58.22 | 64.65 | | | |
| | KuMS | 59.34 | 72.21 | 66.90 | 72.80 | | | |
| | KuNS (or KuFS) | 55.30 | 65.88 | 61.63 | 66.67 | | | |
| | KaMS | 42.78 | 49.95 | 48.15 | 48.85 | | | |
| | KaHS | 42.03 | 50.41 | 48.60 | 49.01 | | | |
| | KaFS | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | | | |
| | PRMS | 54.38 | -9999.00 | -9999.00 | -9999.00 | | | |
| | PRNS (or PRES) | 51.28 | -9999 00 | -99999.00 | -9999 00 | | | |

-Decrease by about 5% (Single freq algorithm)

-Increase by about 1% (Dual freq algorithm: DPRMS)

Ratio= (V7X – 06A) / 06A * 100 [%]

| | ratio [%] | (07X - 06A)/06A | | | | | | | |
|--------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|--|
| | DPR | 06A | 07X_20210312 | 07X_20210415 | 07X_20210709 | | | | |
| | Ku | 06A | 07X_20210312 | 07X_20210415 | 07X_20210709 | | | | |
| | Ka | 06A | 07X_20210312 | 07X_20210415 | 07X_20210709 | | | | |
| | PR | 06A | N/A | N/A | N/A | | | | |
| rain @ eSurf | | | | | | | | | |
| Land+Ocean | DPRMS | 0% | -3.8% | -10.6% | 1.2% | | | | |
| | DPRHS | 0% | 2.4% | -0.2% | 1.5% | | | | |
| | DPRNS (or DPRFS) | 0% | -4.7% | -10.6% | -0.5% | | | | |
| | KuMS | 0% | -4.4% | -9.0% | -0.2% | | | | |
| | KuNS (or KuFS) | 0% | -5.1% | -9.7% | -1.3% | | | | |
| | KaMS | 0% | -1.3% | -4.1% | -2.2% | | | | |
| | KaHS | 0% | -0.7% | -3.2% | -1.5% | | | | |
| | KaFS | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| | PRMS | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| | PRNS (or PRFS) | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| Ocean | DPRMS | 0% | -4.4% | -10.8% | 0.7% | | | | |
| | DPRHS | 0% | -1.8% | -4.0% | -2.2% | | | | |
| | DPRNS (or DPRFS) | 0% | -7.1% | -12.6% | -2.7% | | | | |
| | KuMS | 0% | -10.5% | -14.0% | -5.5% | | | | |
| | KuNS (or KuFS) | 0% | -10.5% | -14.4% | -6.2% | | | | |
| | KaMS | 0% | -4.8% | -7.3% | -5.3% | | | | |
| | KaHS | 0% | -4.6% | -6.6% | -4.9% | | | | |
| | KaFS | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| | PRMS | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| | PRNS (or PRFS) | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| Land | DPRMS | 0% | -0.8% | -9.2% | 3.8% | | | | |
| | DPRHS | 0% | 26.6% | 21.7% | 22.8% | | | | |
| | DPRNS (or DPRFS) | 0% | 6.3% | -1.1% | 9.8% | | | | |
| | KuMS | 0% | 21.7% | 12.8% | 22.7% | | | | |
| | KuNS (or KuFS) | 0% | 19.1% | 11.4% | 20.5% | | | | |
| | KaMS | 0% | 16.7% | 12.5% | 14.2% | | | | |
| | KaHS | 0% | 20.0% | 15.6% | 16.6% | | | | |
| | KaFS | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| | PRMS | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |
| | PRNS (or PRFS) | 0% | N/A | N/A | N/A | | | | |

Over land: (vs V06A)

-Increase by about 14~23% (Single freq algorithm) -Increase by about 4% (Dual freq algorithm: DPRMS)

DPR-L2/L3プロダクト評価結果(2/2)



NASA/PPSでもDPRプロダクトの評価(アングルビン毎の統計値、1次元ヒストグラム、帯状平均値、時系列等)の解析を行っており、ここでは、「アングルビン毎の統計値」と「1次元降水強度ヒストグラム」の例を示す。

アングルビン毎の統計値

1次元降水強度ヒストグラム



(参考) DPRアルゴリズムに関係するGPM主衛星打上げ後の論文

- DPR校正(感度評価含む)
 - DPR校正

* [New!] Masaki et al. (2020, TGRS), <u>https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3039978</u>
DPRアルゴリズム開発に関連する論文

PRE

Kubota et al. (2016, *JTECH*), <u>https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0202.1</u>

VER

[New!] Kubota et al. (2020, JTECH), <u>https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0041.1</u>

CSF

- * Awaka et al. (2016, JTECH) <u>https://doi.org/10.1175/JTECH-D-16-0016.1</u>
- [New!] Awaka et al. (2021, JMSJ) <u>https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-061</u>
- SRT
 - Meneghini et al. (2015, JTECH) https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0044.1
 - [New!] Meneghini et al. (2021, JMSJ) https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-010

DSD/Solver

[New!] Seto et al. (2021, JMSJ), <u>https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-011</u> Seto et al. (2021)がJMSJ Editor's Hightlightに選出(2021年1月)