

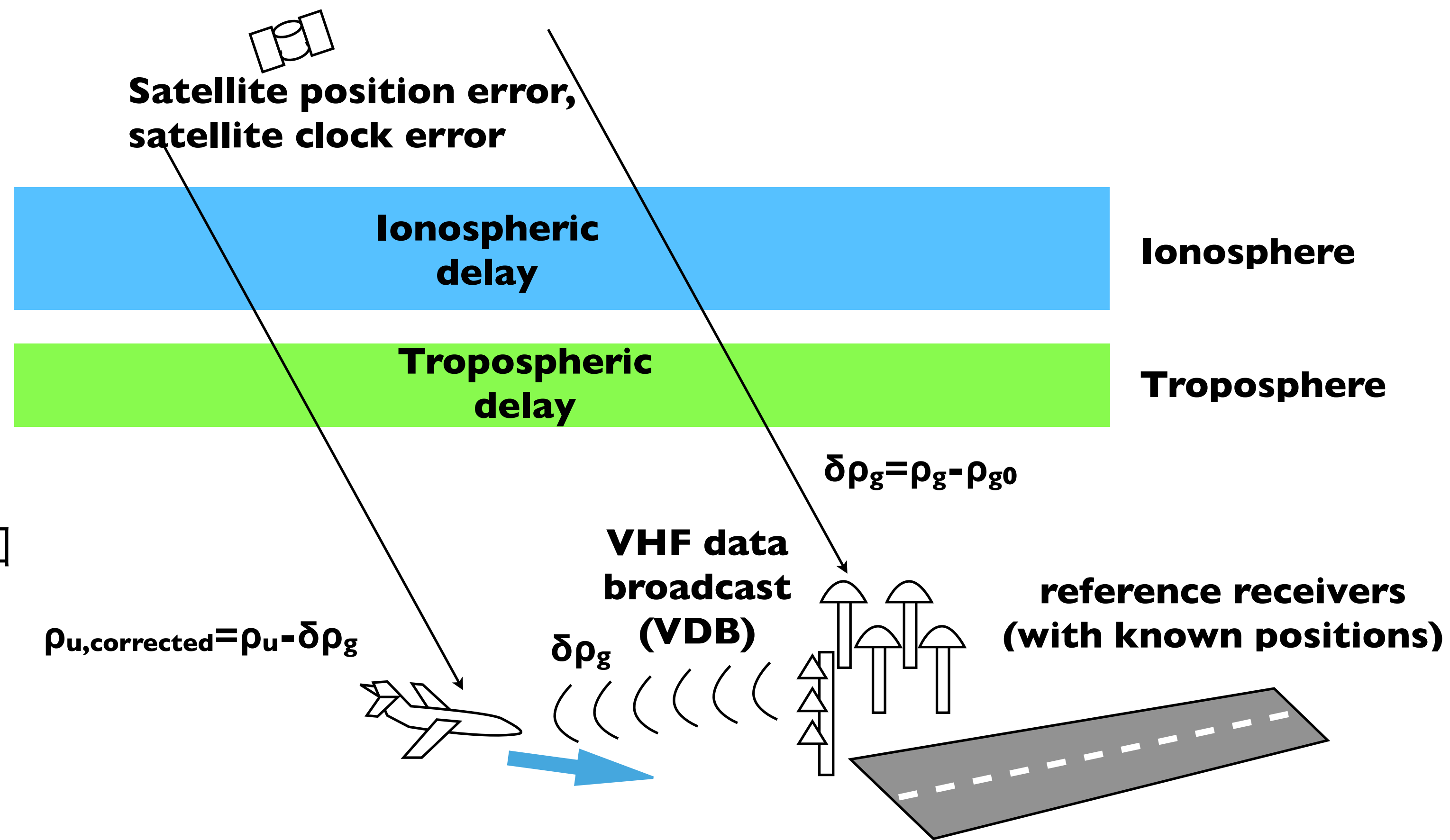
GAST D性能評価のための電離圏誤差評価

齋藤 享、吉原 貴之

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

電子航法研究所 航法システム領域

- * カテゴリーII/III着陸誘導を実現する GBAS (地上型衛星航法補強装置)
 - GPS/GLONASS L1信号を使用
 - 2018年に標準化済み
- * CAT-I GBAS (GAST C)との違い
 - 30秒スムージング擬似距離の追加
 - 電離圏誤差に関するインテグリティ担保を地上・機上で分担



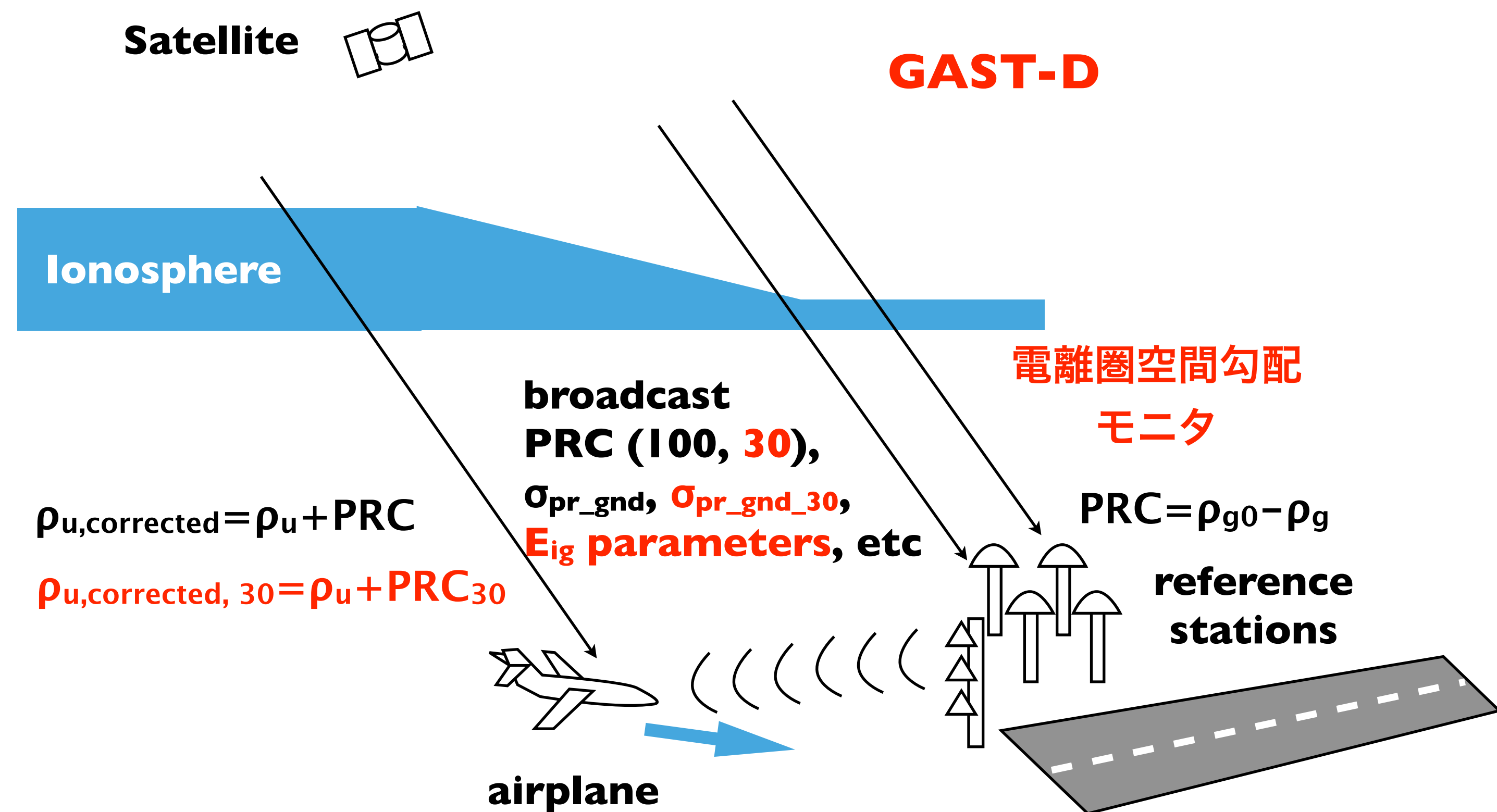
GAST Dと電離圏

* 地上装置

- 電離圏空間勾配モニタを実行
- 30/100秒スムージング擬似距離補正值を送信
- インフレートしない σ 値を送信
- 電離圏最大未検出誤差(E_{ig})パラメータを送信

* 機上装置

- 電離圏誤差検出を分担
 - 誤差が一定以上になりうる衛星配置の排除
- 30/100秒スムージング擬似距離の比較

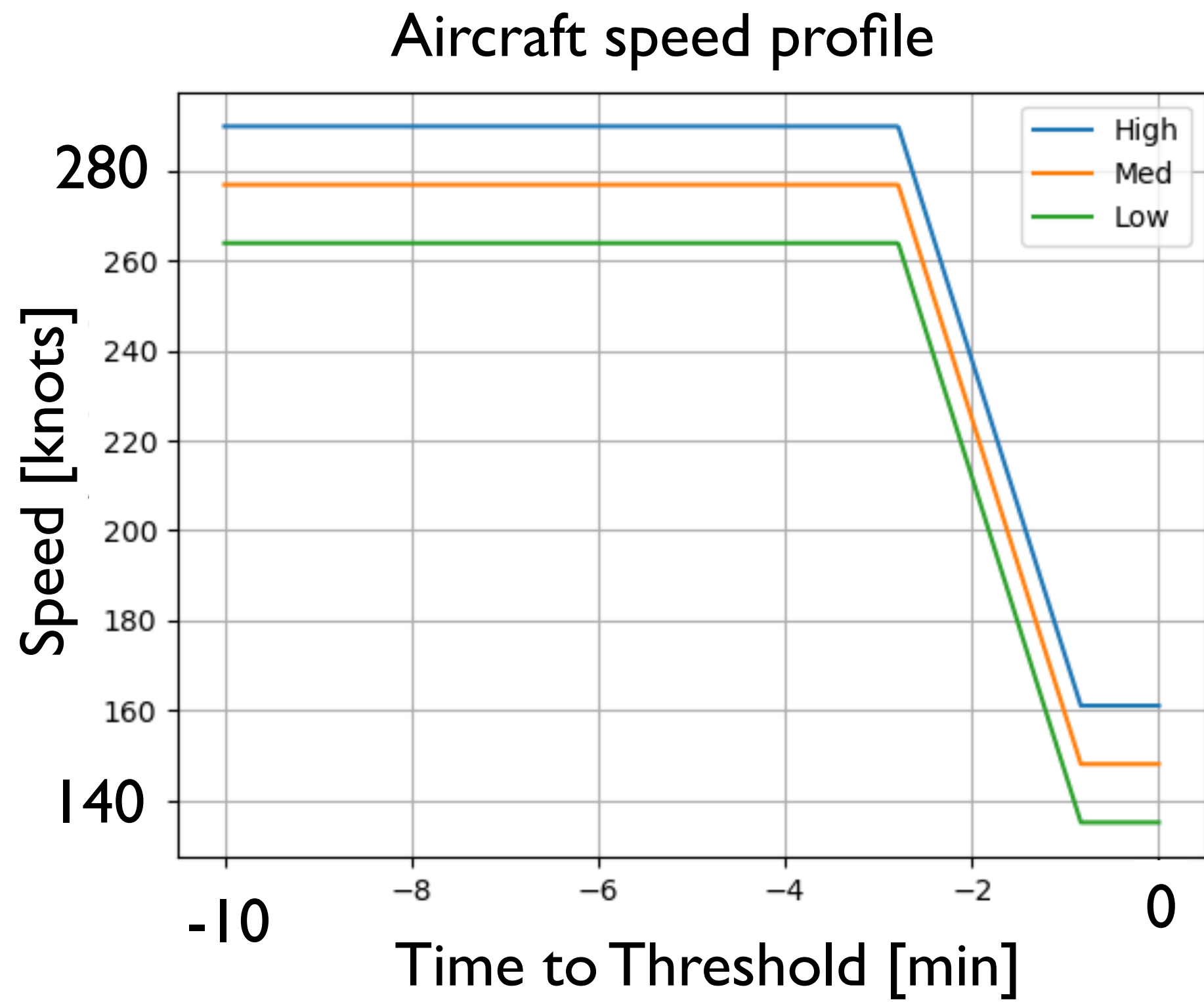


機上電離圏モニタ

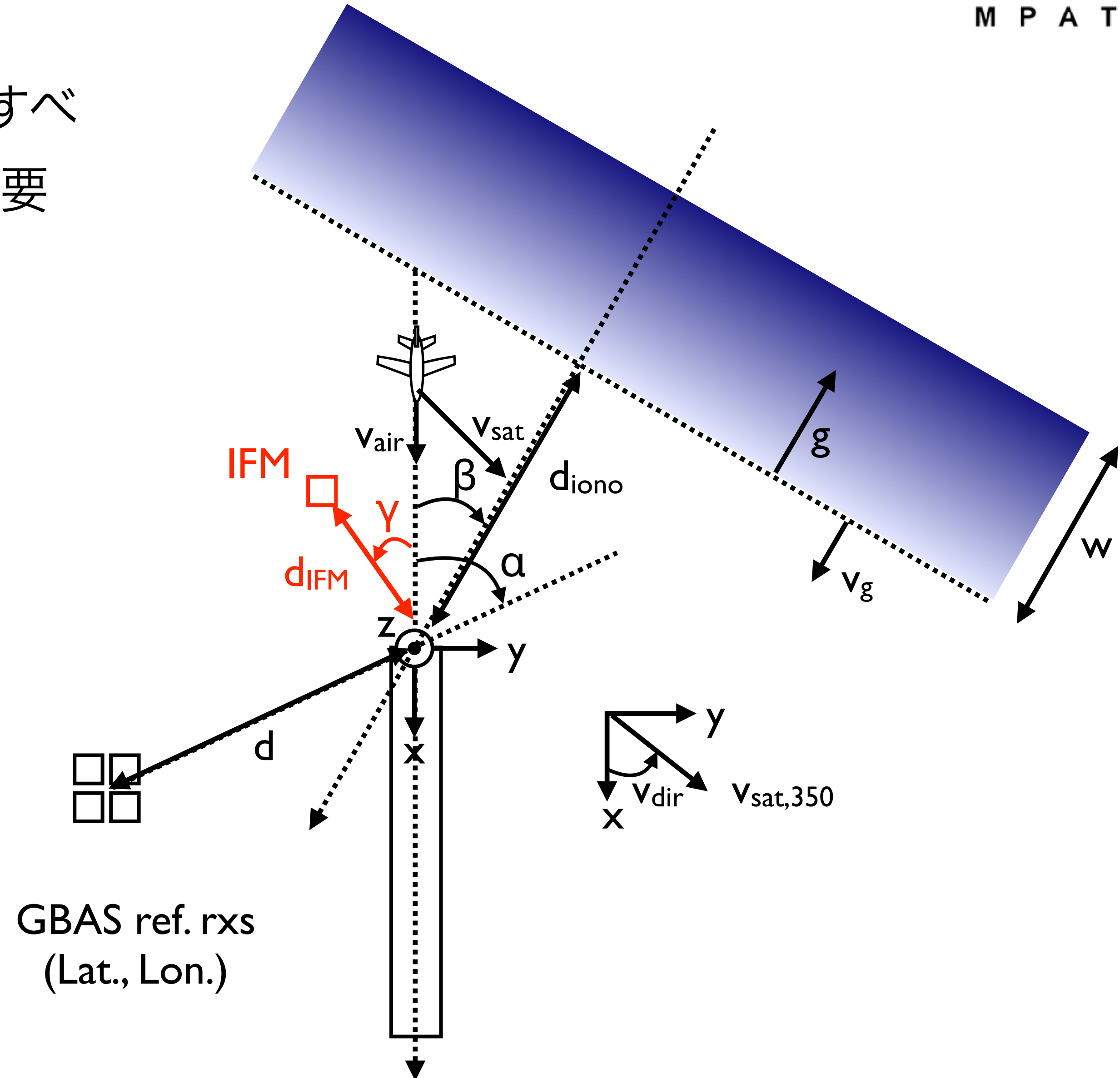
- E_{ig} に基づく衛星配置モニタ (ジオメトリスクリーニング)
- 30/100秒スムージング擬似距離比較

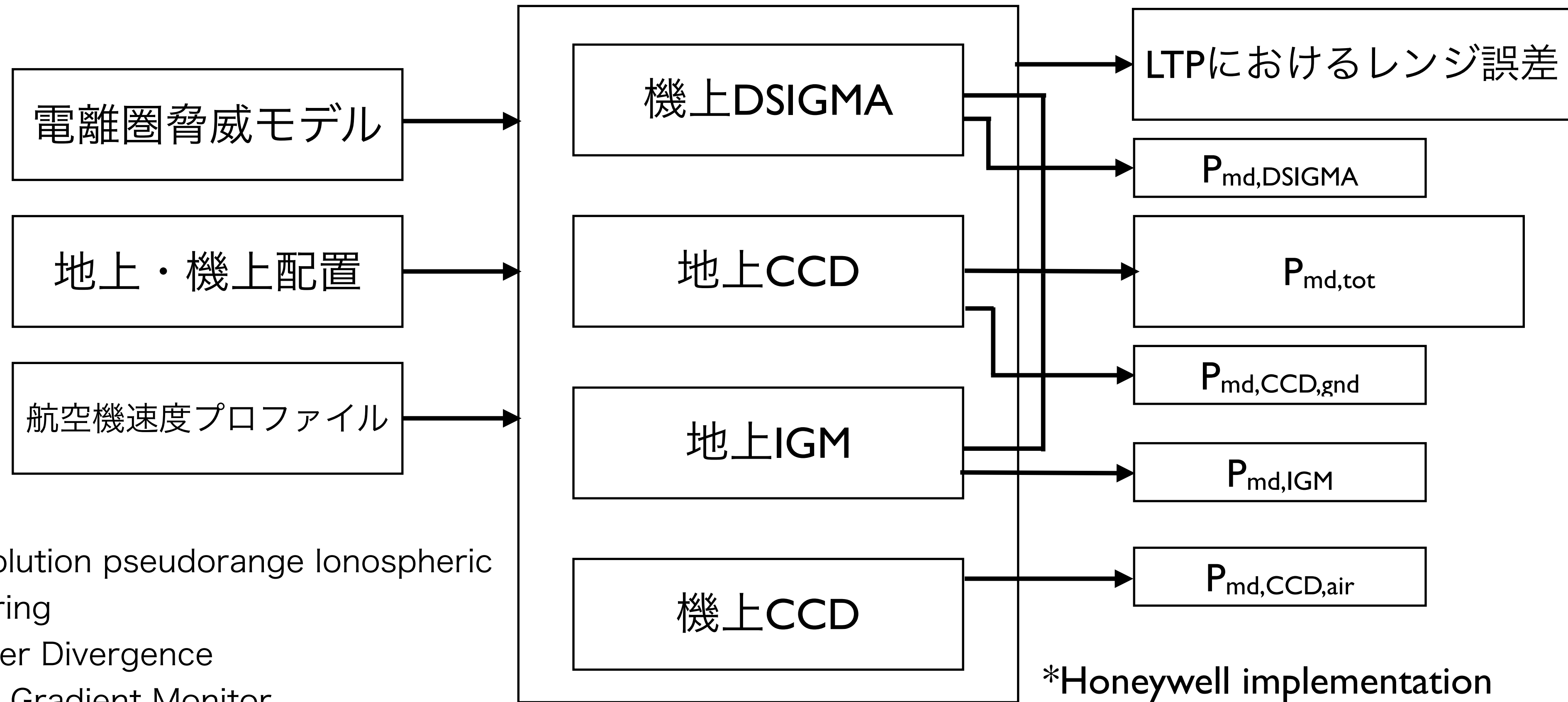
- * GAST D SARPの検証過程においては $E_{IG} \leq 2.75m$ であれば十分なアベイラビリティが得られる見通しが示されている
 - 電離圏脅威モデルに依存し、磁気低緯度等では必ずしも $E_{IG} \leq 2.75m$ を実現できるとは限らない
 - GBAS基準局と滑走路端の位置関係、電離圏脅威モデルによる。
 - ✓ E_{IG} の削減がGAST D実用化の鍵
- * GAST Cにおいては電離圏フィールドモニタ(IFM)が有効[Fujita et al., 2011; Suzuki et al., 2011]
 - GAST CからGAST Dへのアップグレードを考えれば、GAST DにおいてIFMを活用し電離圏起因誤差を低減できる可能性がある
 - Fujita et al., “Performance Evaluation of Single Frequency based Ionosphere Field Monitor for GBAS,” Proc. International Global Navigation Satellite System Society, Sydney, Australia, November 2011.
 - Suzuki et al., “CAT-I GBAS Availability Improvement through Ionosphere Field Monitor (IFM),” Proc. ION GNSS 2011, Portland, US, September 2011.

- * 電離圏未検出誤差(E_{ig})の算出にはあり得るすべての場合についてのシミュレーションが必要



[ICAO Annex 10 Guidance Material]





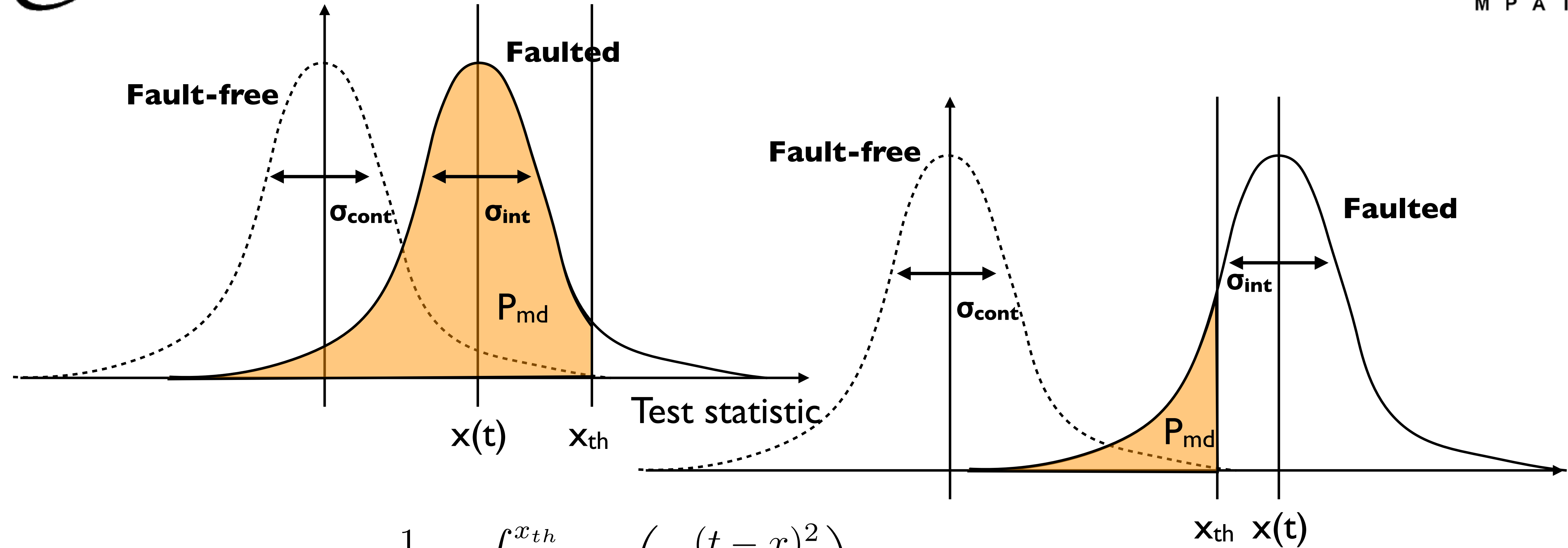
DSIGMA: Dual-Solution pseudorange Ionospheric Gradient Monitoring
 CCD: Code-Carrier Divergence
 IGM: Ionospheric Gradient Monitor

未検出確率 $P_{md,tot} = \min (P_{md,IGM} * P_{md,DSIGMA}, P_{md,IGM} * P_{md,CCD,gnd})$

*Airborne CCD and Airborne DSIGMA are highly correlated.

*** For safety**

$P_{md,tot} < 10^{-9}$ or $P_{md,DSIGMA} < 10^{-9}$ or $P_{md,CCD,gnd} < 10^{-9}$ or $P_{md,IGM} < 10^{-9}$ or $P_{md,CCD,air} < 10^{-9}$



$$\begin{aligned}
 P_{md}(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{x_{th}} \exp\left(-\frac{(t-x)^2}{2\sigma^2}\right) dt \\
 &= \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x_{th}-x}{\sqrt{2\sigma^2}}\right) \right]
 \end{aligned}$$

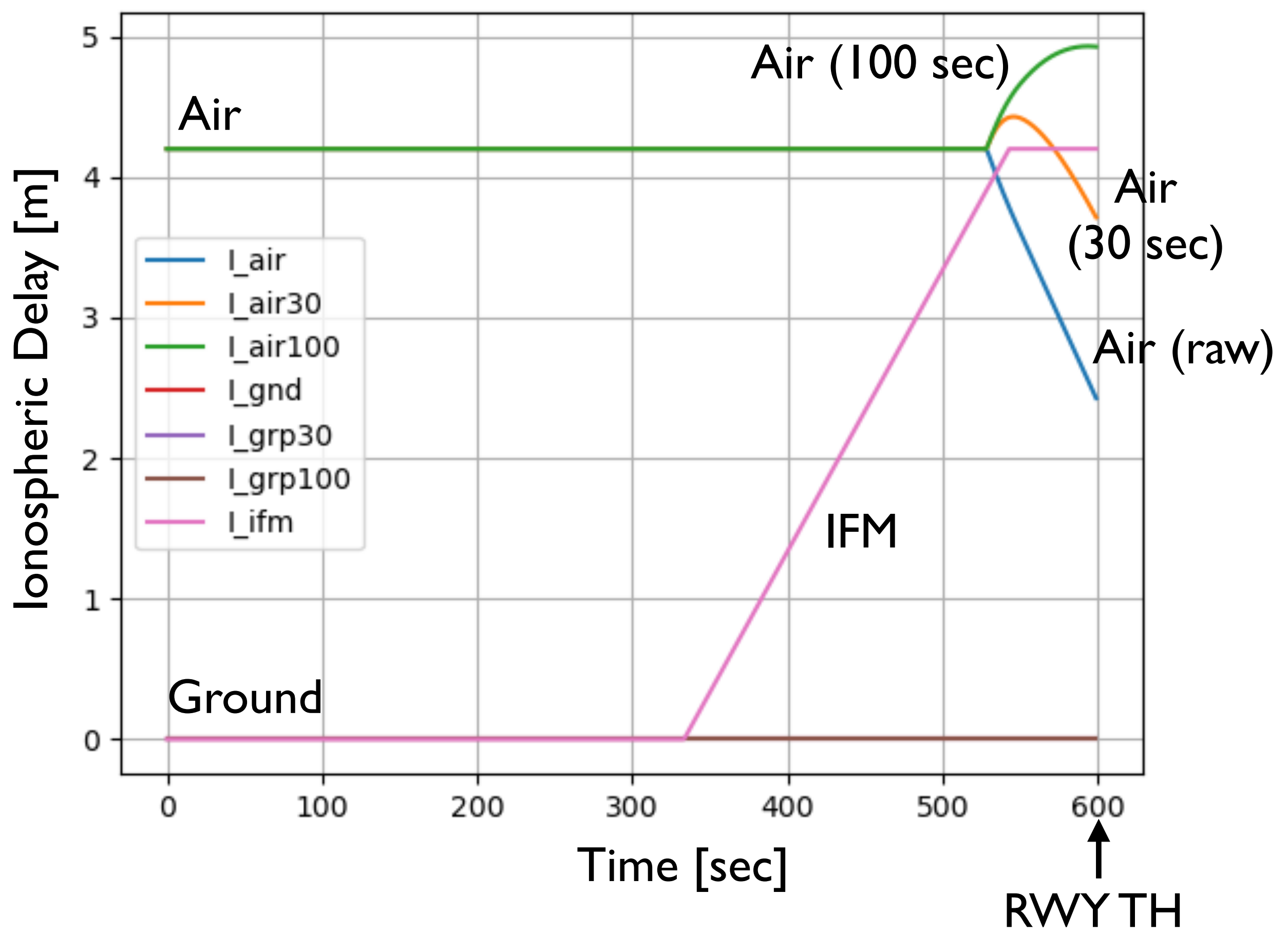
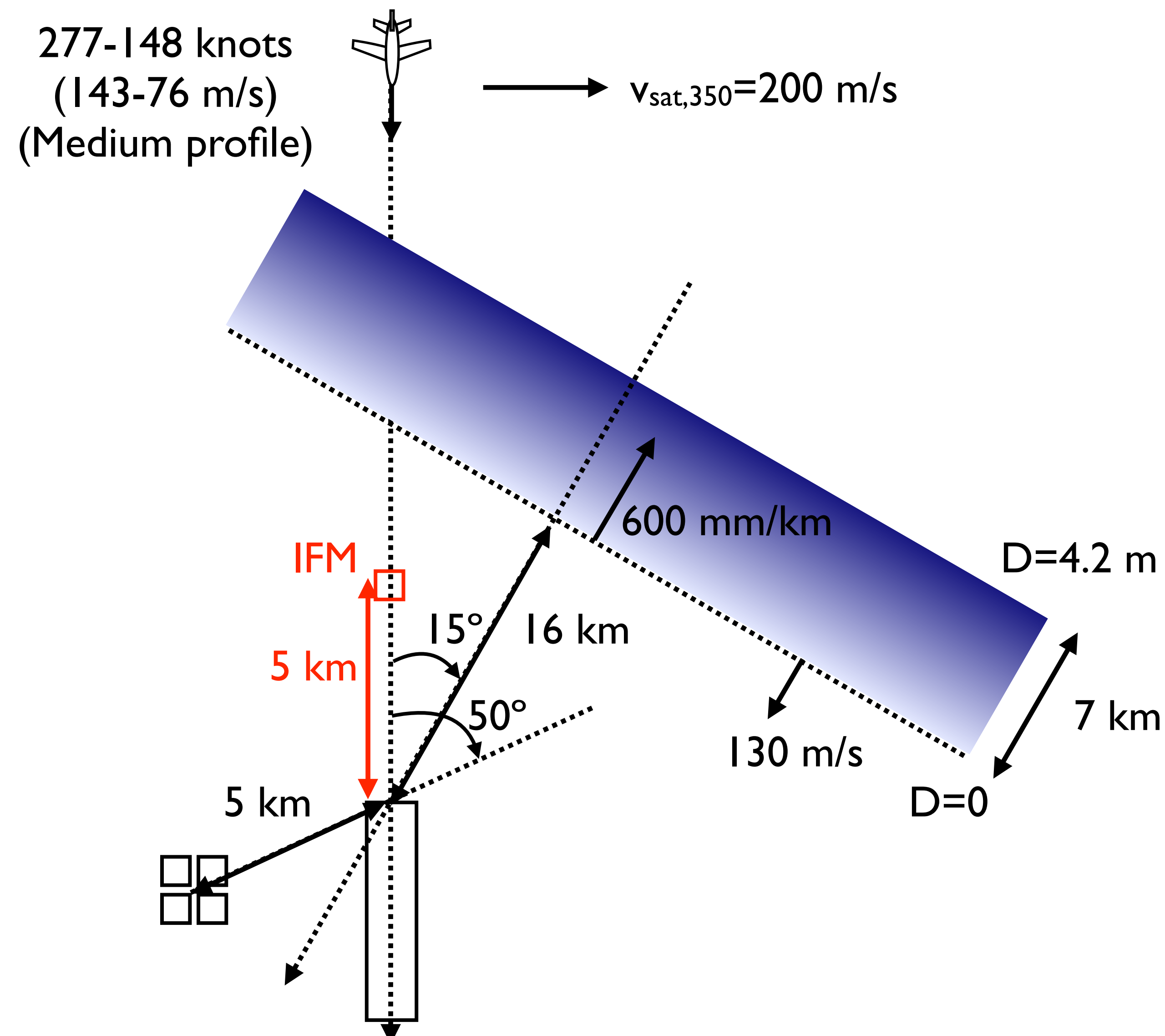
	Type	σ_{cont}	K_{FFD}	Threshold	σ_{int}	K_{md}	MDE
Ground	IGM	16.7	5.54	92.52 mm/km	26.7	6.0	250 mm/km
	CCD	6.9	5.91	40.78 mm/s	6.9	6.0	0.08218 m/s
	IFM	10	5.2	52 mm	10	6.0	112 mm
Airborne	CCD	(7.02)	(5.91)	41.5 mm/s	(7.02)	(6.0)	(83.61 mm/s)
	DSIGMA	0.174	5.61	0.976 m	(0.174)	(6.0)	(2.02 m)

IFM:

Saito et al., “Absolute gradient monitoring for GAST-D with a single-frequency carrier-phase based and code-aided technique,” Proc. ION GNSS 2012, Nashville, US, September 2012.

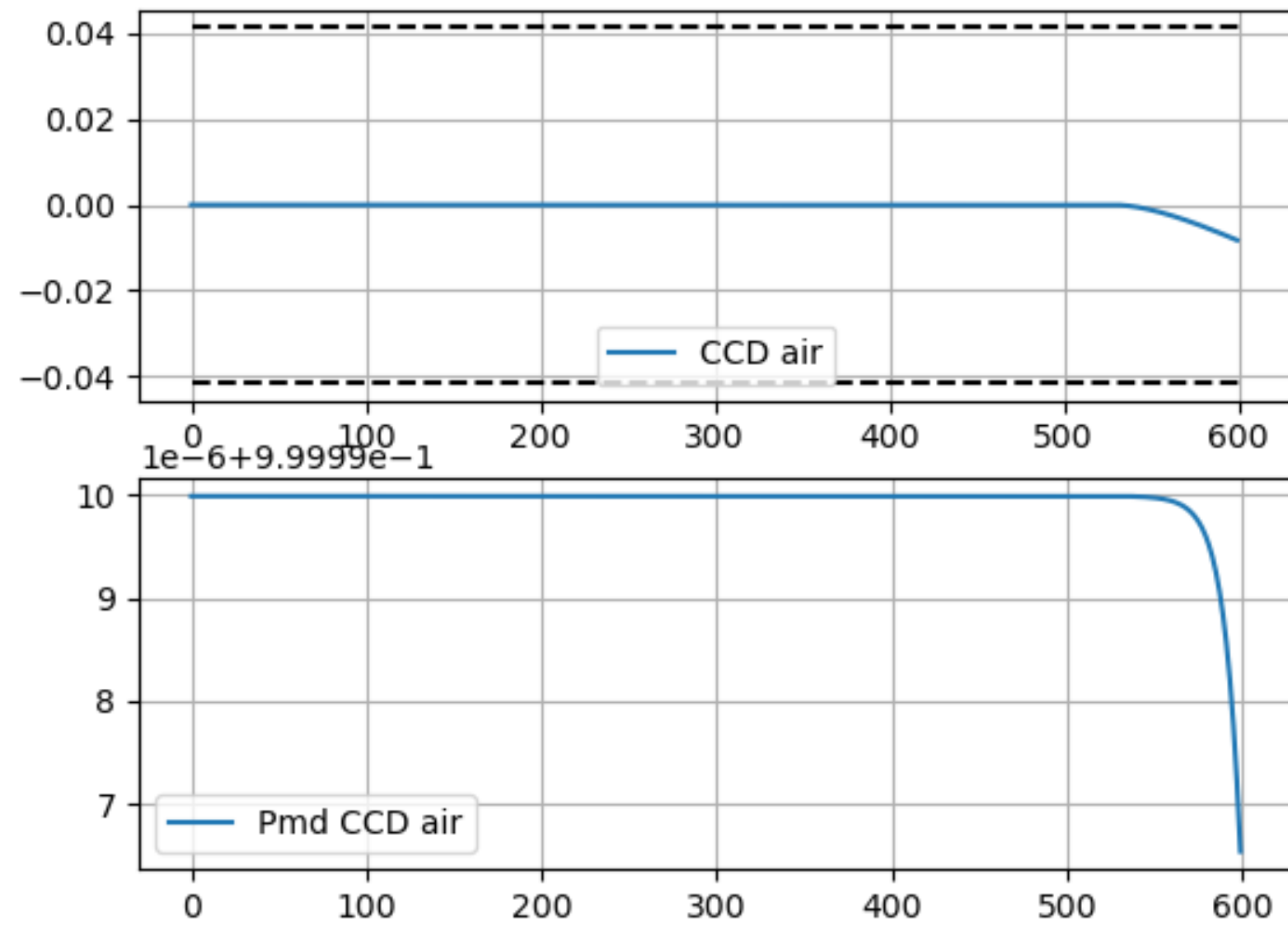
その他:

Pullen et al. “Impact of Ionospheric Anomalies on GBAS GAST D Service and Validation of Relevant ICAO SARPs Requirements,” Proc. ION GNSS+ 2017, pp.2085-2105, Portland, US, September 2017.

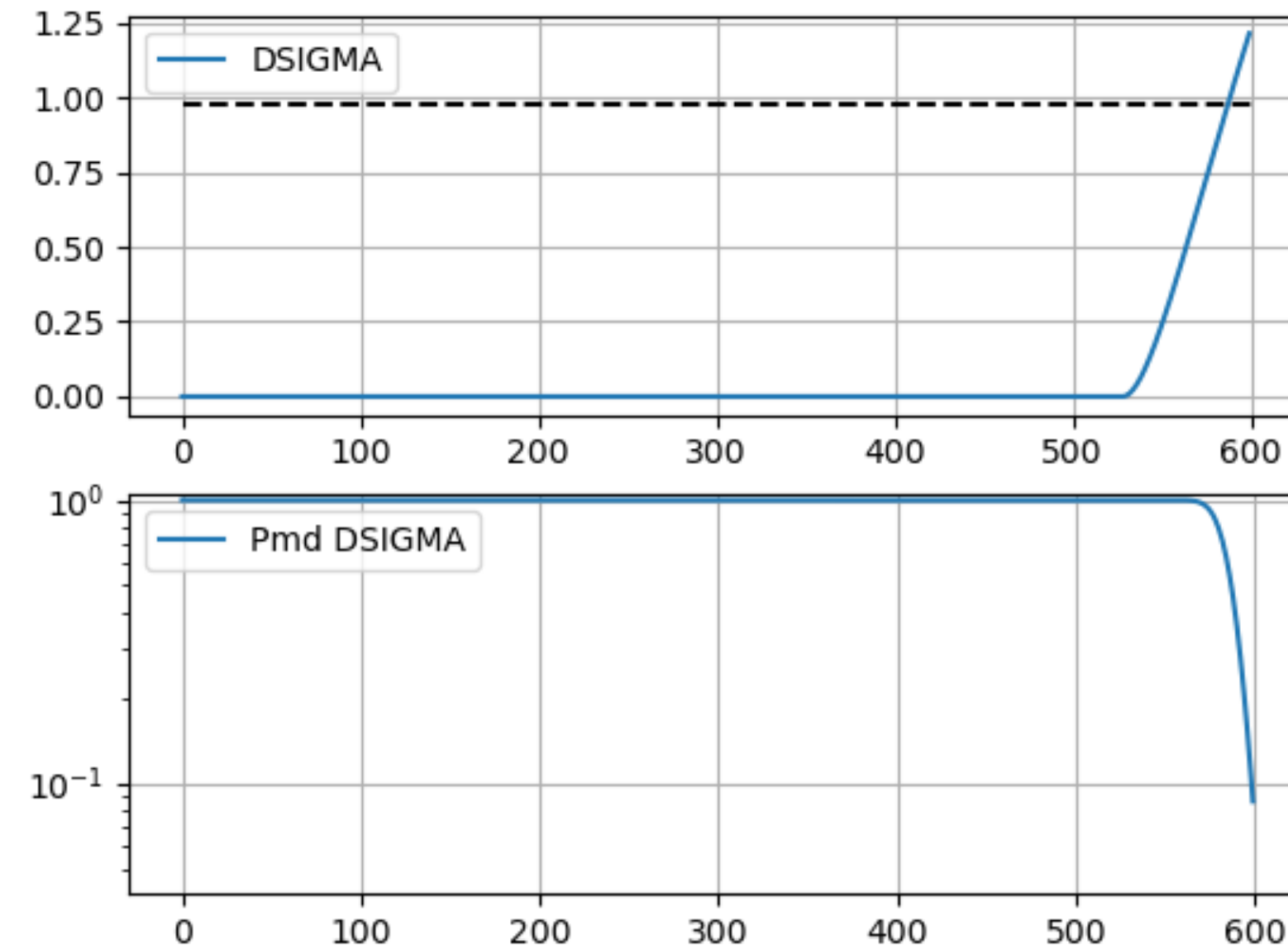


インテグリティモニタの反応

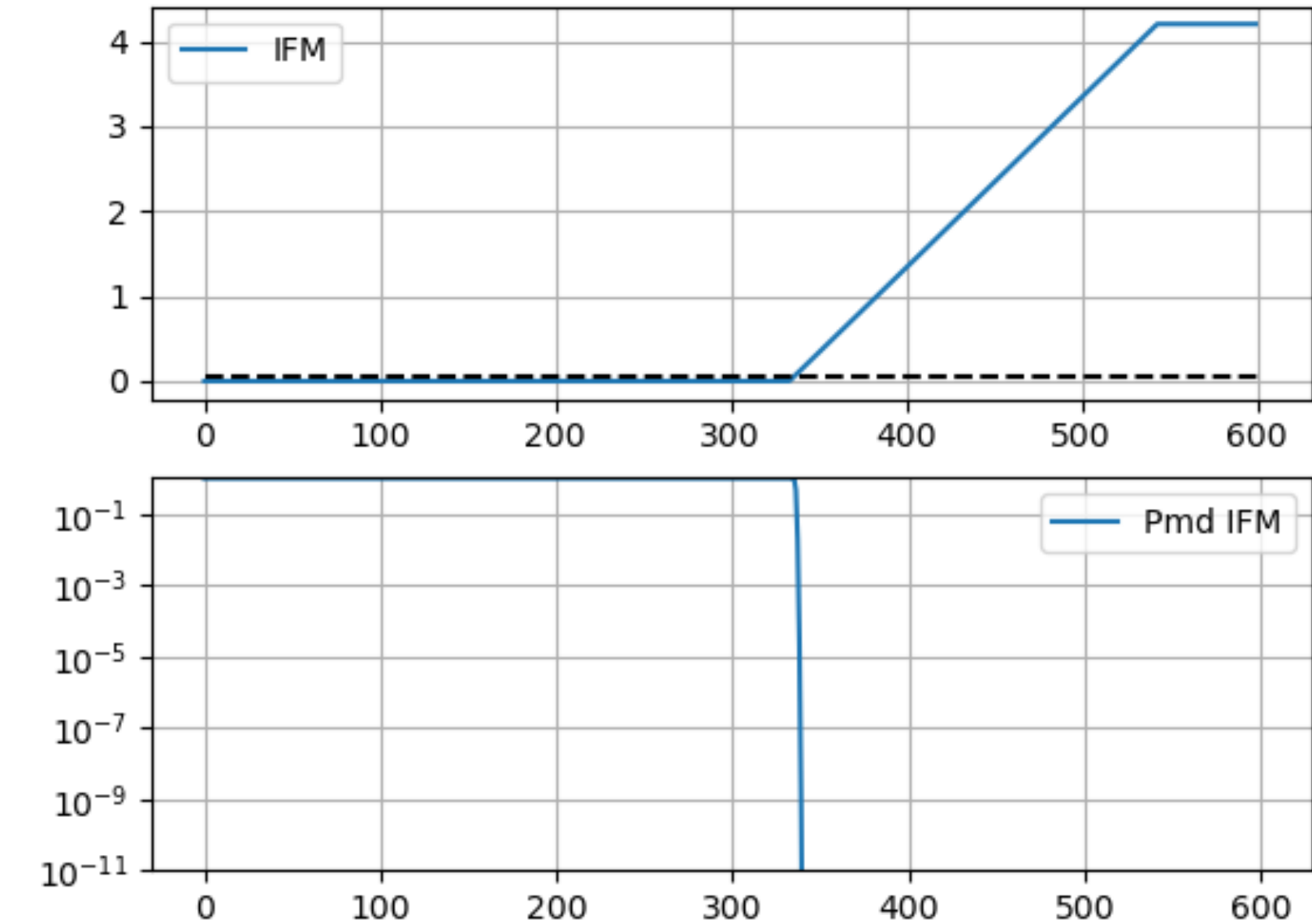
Airborne CCD



DSIGMA

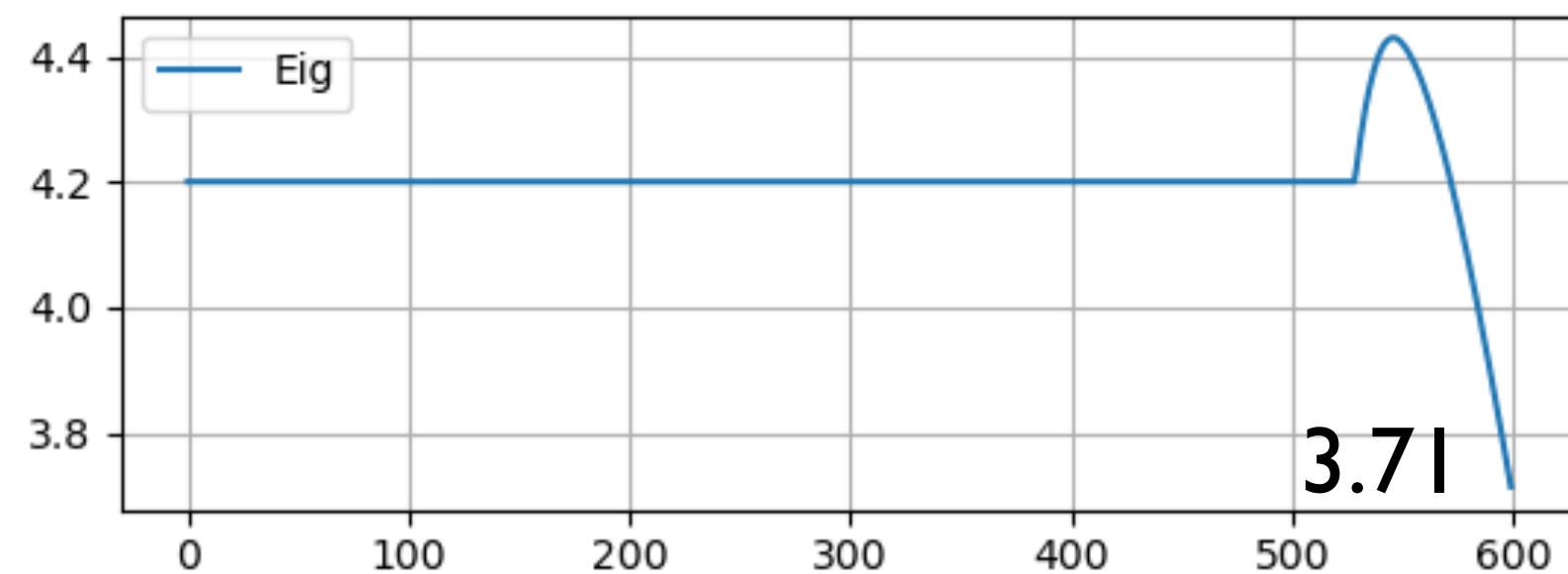


IFM

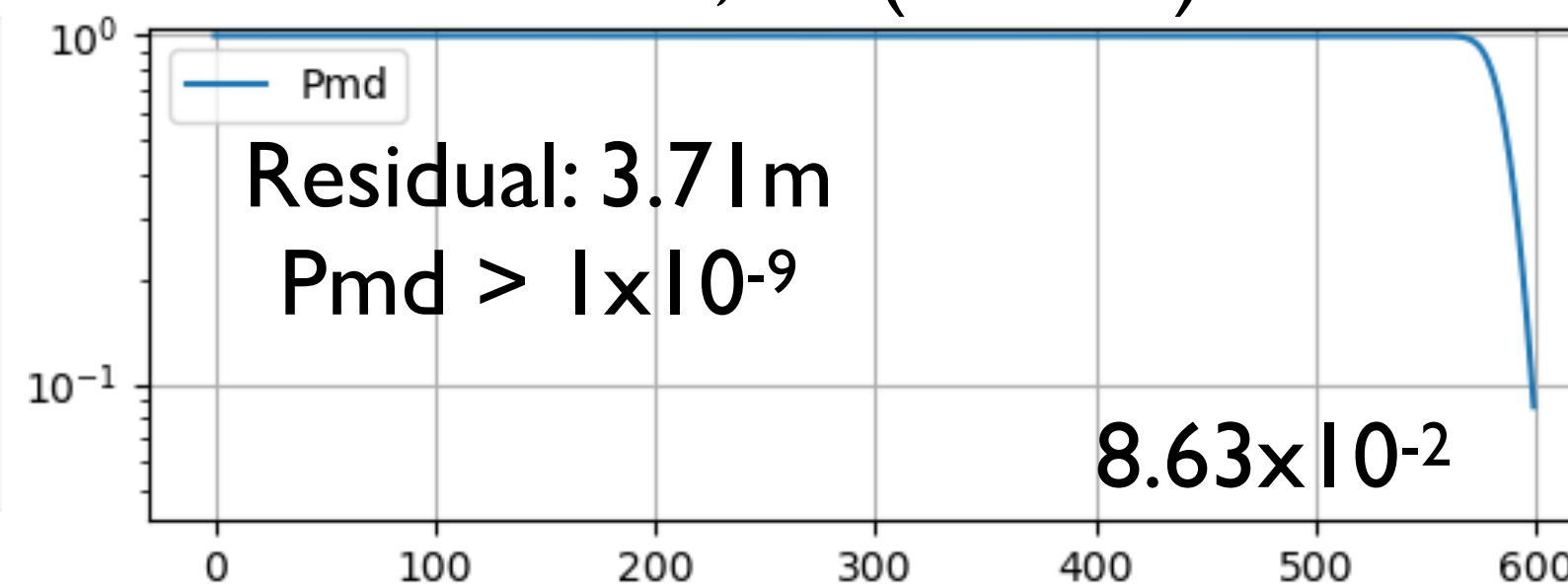


- * 機上モニタは反応を開始するが不十分
- * 地上モニタは反応せず (電離圏勾配未到達)

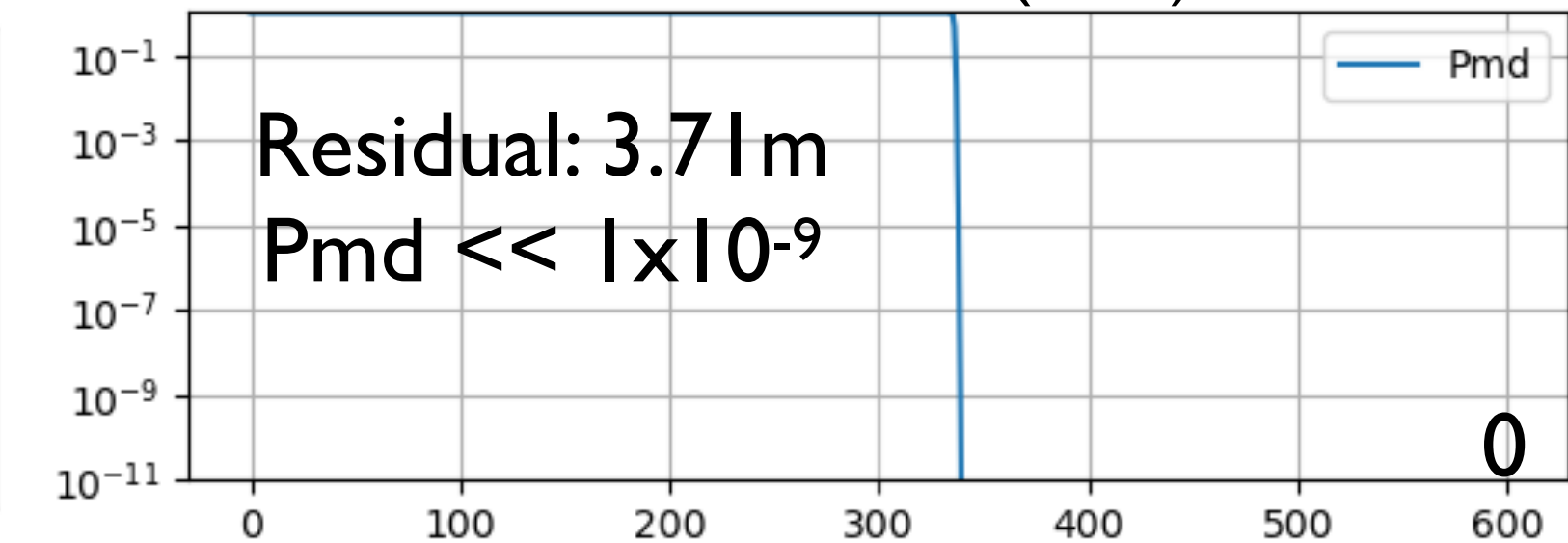
Residual error



Pmd,tot (no IFM)



Pmd,tot (IFM)



- * GAST Dにおける電離圏フィールドモニタ(IFM)の効果を評価
- * IFMを考慮したGAST D電離圏未検出誤差シミュレーションを開発
- * IFMはGAST Dにおいて電離圏活動が活発な地域における性能向上に有効
- ✓ IFMは必ずしも最適の場所に設置できるとは限らない
 - IFMの場所を変えたシミュレーションが必要
 - 実際の設置環境に合わせたシミュレーションが必要
- ✓ 今回示した結果は必ずしも全ての場合を網羅しているわけではない
 - 全ての場合を網羅するシミュレーションを実行する