

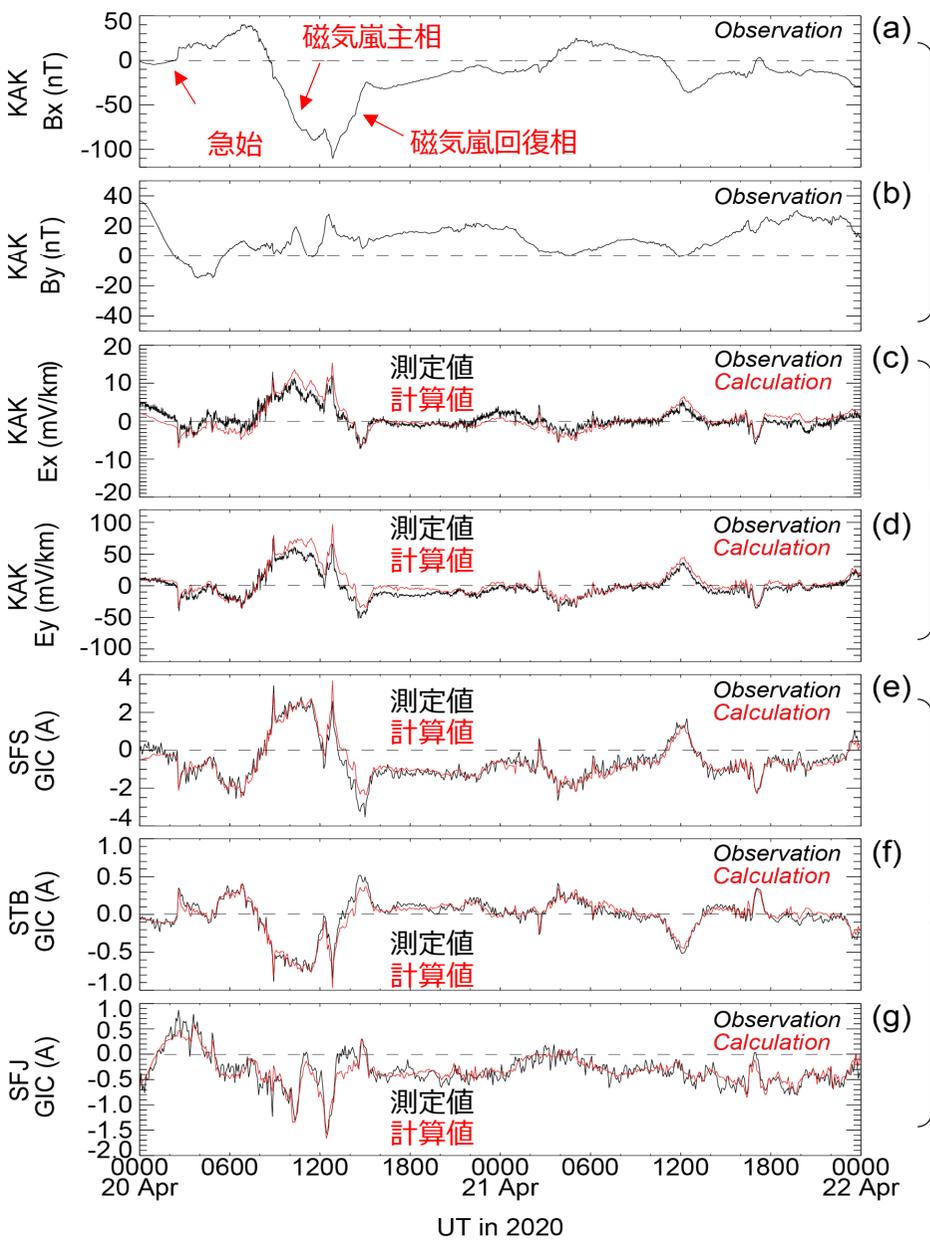
2022年2月4日 10:00-12:00 宇宙天気予報の高度化のあり方に関する検討会

(2) 電力分野における影響

「我が国における取り組み」 GICの測定結果を踏まえた予報スキームの提案

京都大学生存圏研究所 海老原祐輔

2020年4月発生の小磁気嵐 2



(a) 柿岡地磁気観測所
地磁気南北成分

(b) 同東西成分

(c) 柿岡地磁気観測所
地電場南北成分

(d) 同東西成分

(e) 新福島変電所
GIC

(f) 新筑波変電所
GIC

(g) 新富士変電所
GIC

- 地電場とGICの関係式を導出。

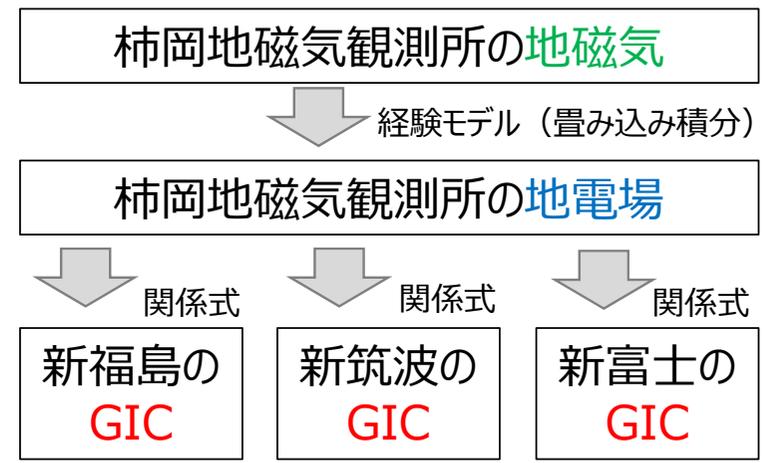
GICと電場の関係式

各変電所のGIC 柿岡で観測された地電場

↓ 南北成分 ↓ 東西成分

$$GIC(t) = a + bE_x(t) + cE_y(t)$$

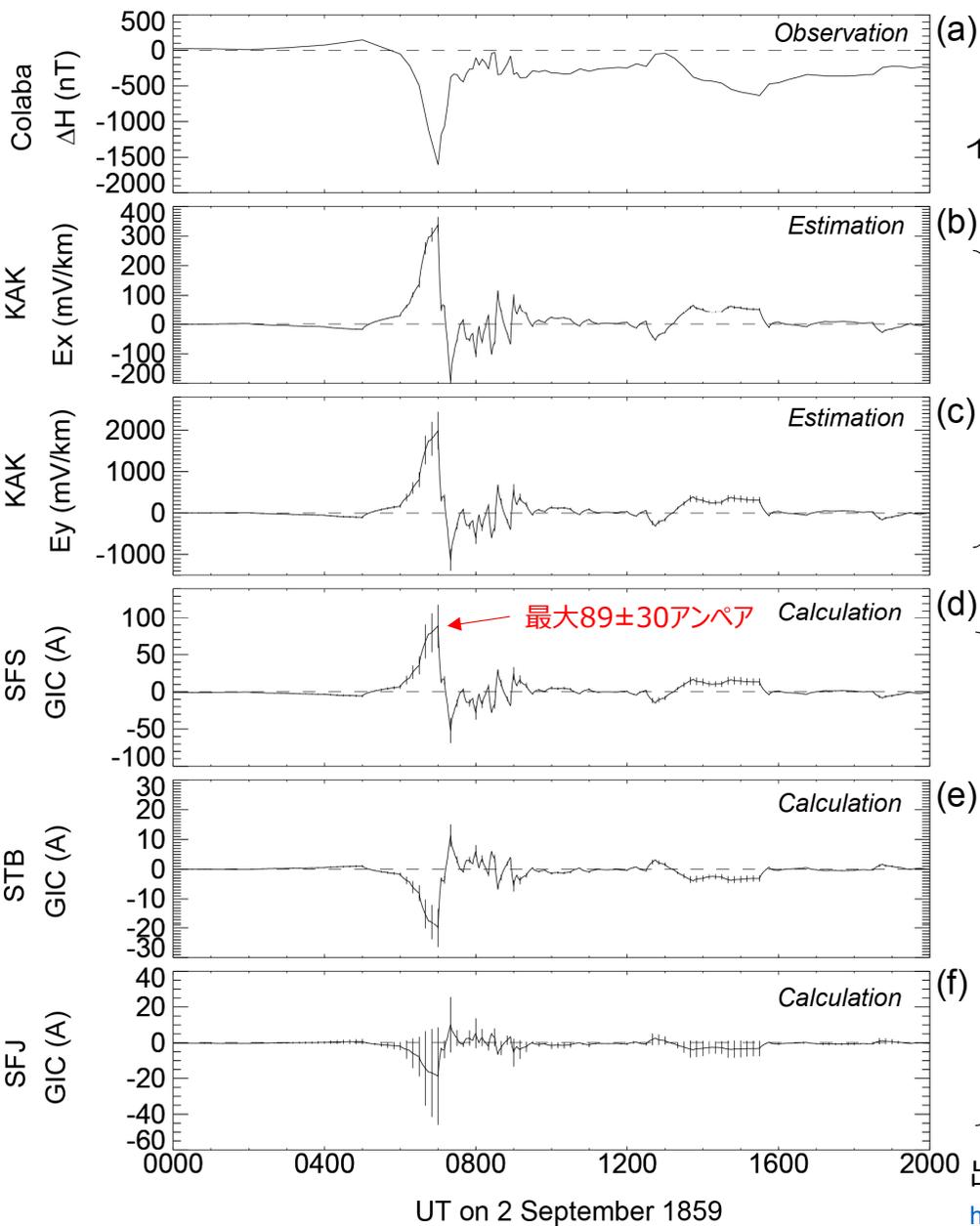
- 地磁気から特定の変電所を流れるGICを比較的正確且つ迅速に求めることが可能に。



出典：海老原ほか(2021)

<https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-021-01493-2>

1859年9月発生 of 超巨大磁気嵐 3



インドで観測された地磁気

- 観測史上最大規模の磁気嵐の再来を想定。
- インドで観測された地磁気データを使い、3変電所で流れるGICを導出。
- 3変電所のGICの最大値は 89 ± 30 アンペア。NERCの熱設計基準(225アンペア)を下回る。

https://www.nerc.com/pa/Stand/TPL0071RD/Screening_criterion_clean_May12.pdf

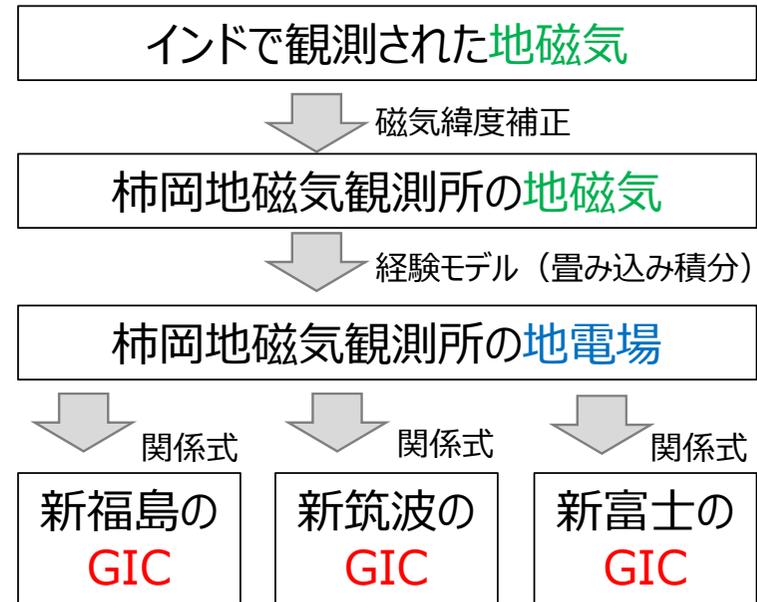
柿岡地磁気観測所
地電場南北成分

同東西成分

新福島変電所
GIC

新筑波変電所
GIC

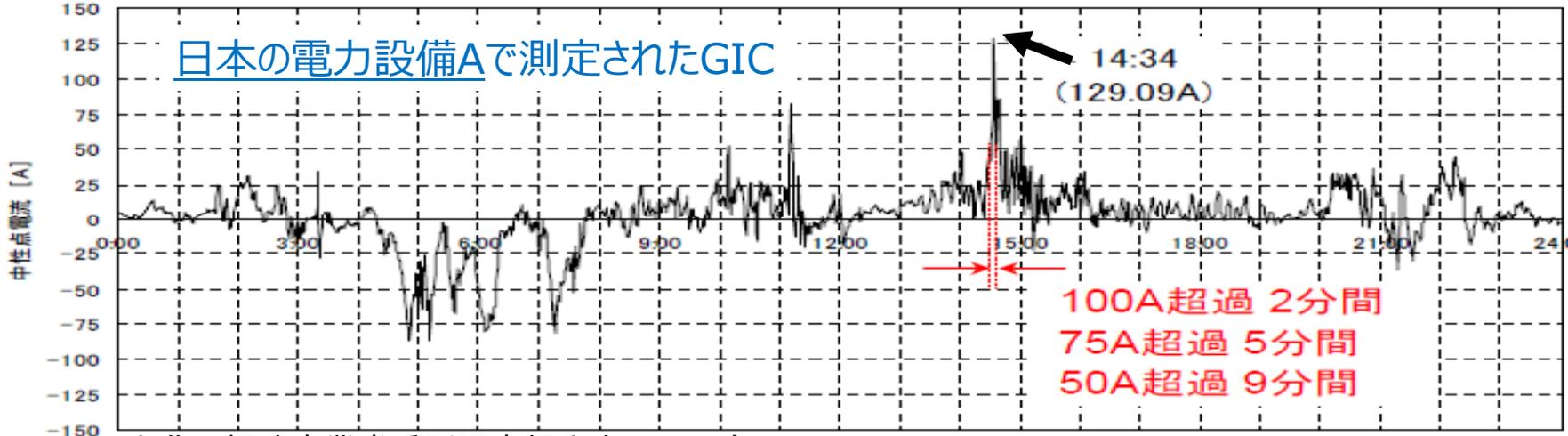
新富士変電所
GIC



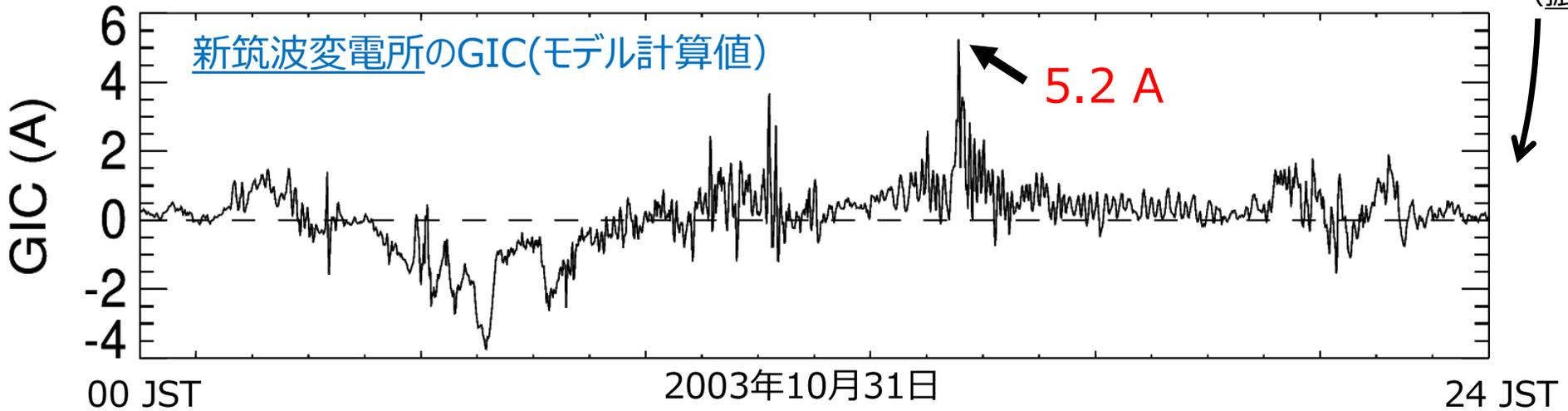
出典：海老原ほか(2021)

<https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-021-01493-2>

2003年10月発生の大磁気嵐 4



出典：経済産業省委託調査報告書 (2015) <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11280903>



出典：海老原ほか(2021) <https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-021-01493-2>

日本の送電網を流れるGICの測定値と推定値

		(スウェーデンで停電)	過去65年間で最大 (カナダで停電)	過去163年で最大 (北米・欧州で電信不通)
	2020年4月	2003年10月	1989年3月	1859年9月
磁気嵐の規模(最小Dst値)	-59 nT	-353~-383 nT	-589 nT	約-950 nT ****
回帰周期		約3年 *	約60年 *	約1100年 *
対応するフレアの規模		X17 **	X15 ***	X45 *****
フレア発生から地球到達まで		18.9時間 **		17.5時間 **
新福島変電所	3.4 A(測定値) #	24.4 A #	14.4 A #	89±30 A #
新筑波変電所	0.8 A(測定値) #	5.2 A #	3.3 A #	20±7 A #
新富士変電所	1.6 A(測定値) #	13.8 A #	16.7 A #	19±27 A #
電力設備A	20 A ###	129 A(測定値) ##	82 A ###	496±174 A ###

* 坪内&大村(2007) ** Gopalswamyほか(2005) *** Allenほか(1989) **** 早川ほか(2021) ***** Cliver&Dietrich(2013)

海老原ほか(2021) ## 経産省報告書(2015) ### 海老原ほか(2021)と経産省報告書(2015)を組み合わせ推定

- 1859年9月の磁気嵐が再来した場合、NERCの基準(225 A) を大きく超えるGICが流れることが想定される。送電網への影響が懸念される。
- 同規模の磁気嵐が10年以内に発生する確率は、0.46-1.88% (Morinaほか, 2019), 4-6% (片岡, 2013), 12% (Riley, 2012)。
- 同規模の磁気嵐を発生しうるCMEが2012年に地球をニアミス (Bakerほか, 2013)。 ★日本の送電網はGICに対して必ずしも安全とは言いきれない

高精度なGIC予測に向けての提案

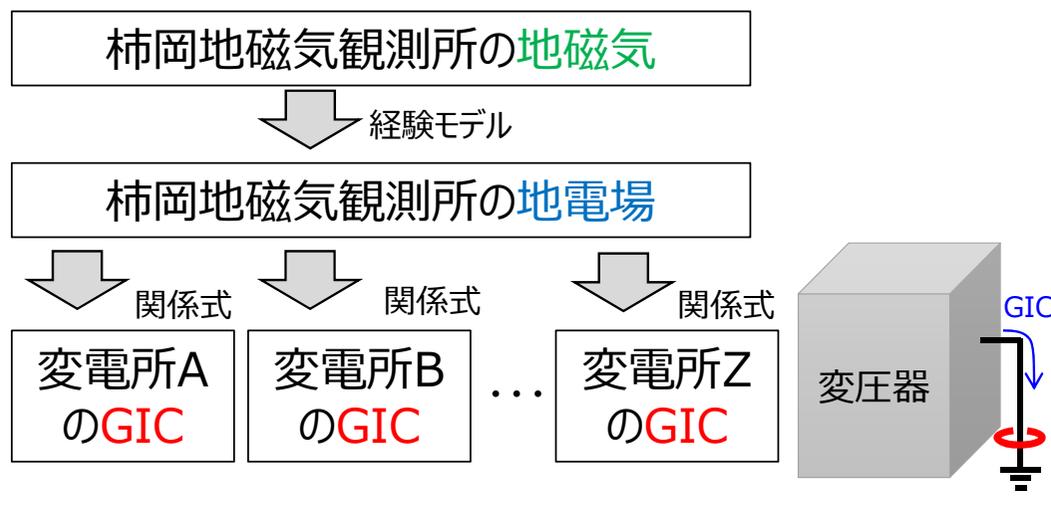
【1】 GICが流れやすい変電所を調査 【2】 注意/警戒すべき磁気嵐のシナリオを策定 【3】 適切な予報スキームの確立

【1】GICが流れやすい変電所を全国規模で調査

調査方法1：全国規模で実測し、変電所を流れるGICと地電場の関係式を導出（実測期間は数ヶ月）

海老原ほか(2021)で有効性を確認

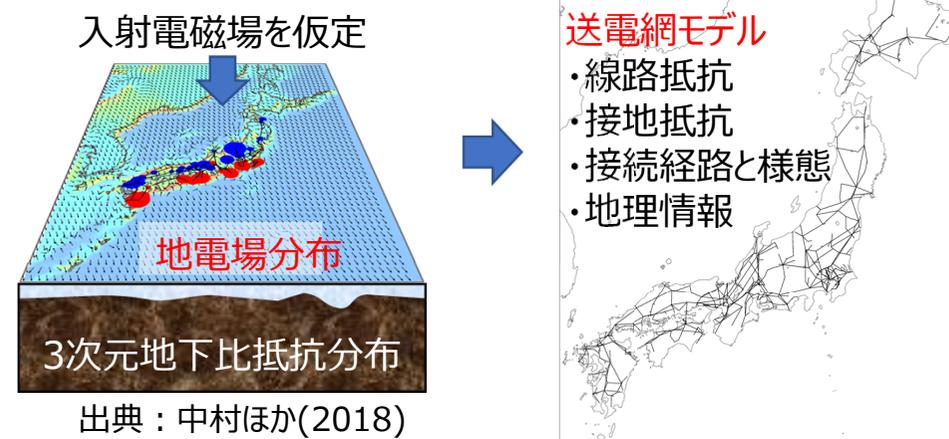
- メリット
 - 関係式を正確に導出可。
- デメリット
 - 測定器が高価（1台～200万円）。
 - 接続様態が変わった場合の対応が難しい。



調査方法2：日本列島の地電場分布を送電網モデルに与え、方程式を解き、全国のGICを導出

中村ほか(2018)で有効性を確認

- メリット
 - 実測しなくても地電場とGICの関係式を導出可。
- デメリット
 - 関係式の正しさについて評価が難しい。
- 課題
 - 3次元地下比抵抗モデルを構築する枠組みが必要。
 - 確度の高い送電網モデルを構築・管理する枠組みが必要。



【2】 注意/警戒すべき磁気嵐のシナリオを策定

7

磁気嵐のシナリオ（地磁気or地電場変動）を作成

・1859年9月の磁気嵐を元に作成

※アメリカ(NERC)は1989年3月の磁気嵐を元にシナリオを策定 <https://www.nerc.com/pa/Stand/Pages/TPL0071RI.aspx>

1で得た関係式を用い、変電所を流れるGICを導出

基準(225 A)超のGICが流れる変電所を特定

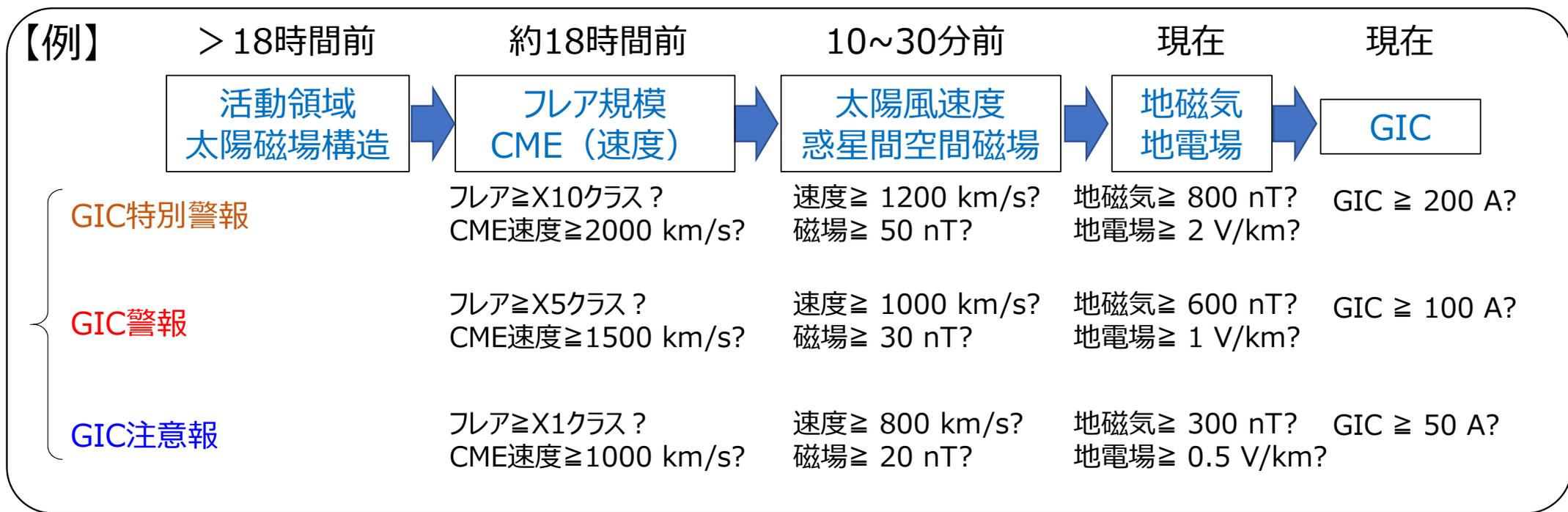
※日本における基準を調査・検討する必要があるかもしれない。

注意/警戒すべき磁気嵐のシナリオを策定

- ★電力事業者ごと、変電所ごとに警戒すべき磁気嵐のシナリオを策定することも可能
→NICTテラーメイド宇宙天気

【3】 キャリントン級磁気嵐の発生を早期に検出する

キャリントン事象(1859年9月)の再来に備えるためには、キャリントン事象が発生する可能性をいち早く検出することが必要。



- 上記のいずれかの閾値を超えた場合に特別警報/警報/注意報を発表。適切なタイミングで解除。
- 閾値を「宇宙天気の警報基準に関するWG」で検討。
- 特別警戒/警戒/注意すべき変電所をマップ上に表示し、系統運用担当者に分かり易い形で提示。
- 超巨大太陽イベントが発生すると、高エネルギー粒子により太陽風観測が不能になる場合がある (2003年10月など)

- 日本の送電網はGICに対して必ずしも安全とは言い切れない。
- 送電障害を回避するために適切な警報発表スキームの確立が必要。
 - 【1】GICが流れやすい変電所を全国規模で調査
 - GICを実測しなくとも、全国の送電網を流れるGICを推定可能
 - 【2】注意/警戒すべき磁気嵐のシナリオを策定
 - 1859年9月の磁気嵐を基準に考える
 - 【3】キャリントン級磁気嵐発生の可能性を早期に検出する
 - 宇宙天気の警報基準に関するWGで閾値を検討
- 電力以外の分野はどうか？（光ファイバー、パイプラインなど）

課題1

注意/警戒すべきGICの閾値を設定

- 警報/注意報の根拠として必要。
- アメリカ(NERC)の熱設計上の基準は225 A/3相。



電力会社様、送配電網協議会様、
電機メーカー様

課題2

3次元地下比抵抗分布モデルの確立に向けたロードマップの策定

- 全国を送電網を流れるGICの計算に必要。
- 広域電磁探査、モデルなど多種多様な手法を組み合わせる。



経済産業省様

課題3

送電網（線路の直流抵抗、接地抵抗など）のデータベースの構築・管理

- 全国を送電網を流れるGICの計算に必要。
- 適切なタイミングでアップデートされることが望ましい。



電力会社様、送配電網協議会様

課題4

キャリントン級磁気嵐発生の可能性を早期に検出するスキームの確立

- キャリントン事象の場合、フレア発生から磁気嵐発生まで17.5時間と短い。
- 長いリードタイムを確保できるよう、太陽の磁場構造を含め、包括的な検討が必要。



NICT様、研究者コミュニティ