

地磁気急変化現象 ssc 及び si の Quality 判定基準の再検討

森永健司¹, 大川隆志²

地磁気観測所 ¹観測課, ²技術課

2019年11月14日受領, 2019年12月11日受理, 2020年3月17日刊行

要 旨

地磁気急変化現象の ssc (storm sudden commencement) と si (sudden impulse) について, その発生機構は同じであるにも関わらず, 現象の明瞭度を表す Quality の判定基準が異なっていた. そこで ssc と si で共通の Quality の判定基準を作成することを目的とし, 現象の振幅に着目して ssc と si の Quality 別の振幅について統計的な調査を行った. 調査結果を基に, 振幅で決定する ssc 及び si の Quality 判定基準を作成した.

1. はじめに

地磁気観測所の地磁気脈動現象を含む短周期変化現象の読み取り及び報告は, 1957年の IAGA 総会での決議に基づき1957年7月より開始された. 1980年4月に地磁気短周期変化現象の内, si, bay (湾形変化), pi (irregular pulsations), pc (continuous pulsations) については国際報告の義務が廃止され, 国際報告は磁気嵐と sfe (solar flare effect) のみとなったが, 地磁気観測所では1980年以降も継続してこれらの短周期変化現象の読み取りを実施しており, 毎年発行していた地磁気観測所報告や地磁気観測所のウェブサイト観測成果として公表している.

報告にあたり, IGY 年報の別刷として刊行された “Provisional Atlas of Rapid Variations (1961)” が地磁気短周期変化現象の読み取り手法の指針とされ, その中に個々の地磁気短周期現象に対し A, B, C の3段階で Quality (品質情報) を付加するように記載されている. “Provisional Atlas of Rapid Variations” に記載されている A, B, C の定義は以下の通りである.

A : very distinct

B : fair, ordinary, but unmistakable

C : poor or doubtful

ただし, 地磁気観測所では, C については「poor, but unmistakable」とし, 上記「poor or doubtful」のような現象は Quality “D” として報告対象から除いている.

これら Quality 分類において現象の明瞭度判別には観測者の主観に左右される面が多く, 継続的に均一な水準を保つのは困難である. そこで地磁気観測所では, より客観的に判別できるよう各地磁気短周期変化現象ごとに独自の Quality 判定基準を用いている. 地磁気観測所独自の Quality 判定基準に関しては, 「技術報告 第26巻特別号 観測指針 - 絶対観測, 変化観測 - (1987)」(以下観測指針という)に詳しい.

ssc の Quality 判定基準は, 来栖 (1971) を基に決定されており, ssc の立ち上がり振幅と磁気嵐の振幅との比で Quality を決定していた. 一方, si は立ち上がり振幅の大きさと si 発生時刻を中心とした3時間の他の不規則変化の大きさの比で定義される α (アルファ) 指数という指数を用いて Quality を決定していた.

ssc と si は, ともに太陽風動圧による磁気圏の圧縮や膨張に伴い, 磁気圏・電離圏に発生する電流に起因する地磁気急変化現象で, 現象発生後に磁気嵐に発達するか否かの違いがあるものの本質的に同じである. ところが, ssc と si の Quality の判定基準が異なるため, 立ち上がりの振幅が同じであるにもかかわらず両者の Quality の判定が分かれることがよくあった.

本研究は ssc と si の Quality 判定基準の統一を目的として, 柿岡, 女満別, 鹿屋の3地点ともデジタル每秒値が得られている1999年から2016年の18年間に発生した ssc 及び si を対象として, 立ち上がり振幅毎の出現個数と Quality を統計的に調査した.

調査結果を基に ssc 及び si で共通の Quality 判定基準を新たに決定し、その妥当性を評価した。

2. 使用データ

調査に使用したデータは、1999年1月から2016年12月までに柿岡、女満別、鹿屋で発生した Quality C 以上の ssc 及び si 全1456個である。表1に観測点及び Quality 毎の出現個数を示す。

観測指針では、ssc 及び si の Quality A、B の必要条件として変化率が1分間に3nT（以下3nT/min という）以上と定めており、振幅が大きくても変化率の基準で Quality C となっている事例が多数含まれている。この変化率の基準を満たす事例のみを抽出した場合の Quality 毎の出現個数を表2に示す。表2を見ると、Quality B にも変化率が3nT/min の基準を満たさない事例が数事例存在することがわかる。

表1 1999年1月から2016年12月までの柿岡、女満別、鹿屋の ssc 及び si の Quality 別の出現個数

観測点	現象種別	現象のQuality		
		A	B	C
柿岡	ssc	50	54	33
	si	49	160	137
女満別	ssc	54	58	28
	si	54	164	129
鹿屋	ssc	51	58	31
	si	50	162	134

3. 振幅毎の出現個数と Quality 分布

変化率が3nT/min 以上のデータを対象に、Quality 別に振幅毎の出現個数を調査した。表3～表5に ssc のみ、si のみ、両方の Quality 別のデータ個数、平均値、中央値、標準偏差、平均値と標準偏差より求めた振幅による Quality 分布の境界値の目安を示す。

表3、表4をみると、より si の方が、Quality B、C の分布が広く、同じ振幅でも Quality が異なる事例が多いことがわかる。逆に ssc は振幅で見て、Quality の境界がある程度ははっきりとしている。観測点による違いを見ると、si、ssc 共に柿岡、鹿屋、女満別の順に Quality 毎の平均振幅が大きくなる傾向が見られる。

今回の調査の目的は ssc と si で共通の Quality 判定基準を定めることなので、表5で示した両方のデータの統計結果を使用する。観測点により振幅の

表2 1999年1月から2016年12月までの柿岡、女満別、鹿屋の変化度3nT/mi 以上の ssc 及び si の Quality 別の出現個数

観測点	現象種別	現象のQuality		
		A	B	C
柿岡	ssc	50	49	15
	si	49	151	51
女満別	ssc	54	56	18
	si	54	163	72
鹿屋	ssc	51	54	19
	si	50	160	59

表3 各観測点の ssc の Quality 別データ数、平均値、中央値、標準偏差、指標目安

	柿岡			女満別			鹿屋			全地点合計		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
データ数	50	49	15	54	56	18	51	54	19	155	159	52
平均値	48	20	11	58	24	12	56	23	13	54	22	12
中央値	43	20	10	50	24	13	50	23	12	48	22	12
標準偏差	22	6	5	29	8	4	27	7	5	26	7	4
境界目安	26-	14-26	-16	29-	16-32	-16	29-	16-30	-18	28-	15-29	-16

表4 各観測点の si の Quality 別データ数、平均値、中央値、標準偏差、指標目安

	柿岡			女満別			鹿屋			全地点合計		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
データ数	49	151	51	54	163	72	50	160	59	153	474	182
平均値	42	22	15	52	27	17	47	25	16	47	25	16
中央値	40	20	14	48	24	15	44	22	13	43	22	14
標準偏差	14	11	7	19	15	9	16	12	7	17	13	8
境界目安	28-	11-33	-21	33-	12-42	-26	31-	13-37	-23	30-	12-38	-24

大きさが違う傾向が見られることから、観測点毎に分けて振幅による Quality 分類基準を求める。

4. 振幅による Quality 判定基準の決定

表5に示した、各観測点の ssc, si の Quality 別の平均振幅と標準偏差から求めた振幅による Quality 分類の指標目安値を見ると、A・Bの境界及びB・Cの境界共に重複する箇所が見られる。各観測点の重複部の1nT刻みの Quality 毎のデータ出現数を図1～6に示す。

Quality BとCの重複部に関して、柿岡は13nTからBの出現数がCより多くなる(図2)。鹿屋は15nTからBの出現数がCより多くなる(図6)。女満別は、14から15nTはBとCがほぼ同数出現しており、16nT以上でBがCより多くなる(図4)。これらの結果から、柿岡はBが13nT以上、鹿屋は15nT以上とし、境界が曖昧な女満別に関しては、中間をとってBは15nT以上と決定した。

Quality AとBの境界については、図1、図3、図5を見ても3地点共にBとCの重複部ほど明瞭に出現個数が入れ替わる境界値が見られない。そこで、重複部のちょうど中間あたりで、Quality BよりAの方が出現数が多くなる場所を見てAとBの境界値を決定する。その結果、柿岡は29nT、女満別は34nT、鹿屋は33nTが妥当と判断した。女満別と鹿屋の閾値は1nTしか違わないが、柿岡は4～5nT程度小さくなっており柿岡と女満別・鹿屋で共通の基準を使うのは難しい。Quality AとBの閾値に関して柿岡は29nTとし、女満別・鹿屋は鹿屋に合わせて33nTとした。

5. si の Quality C の下限について

sscは急始型磁気嵐の開始となるため、立ち上がり振幅が非常に小さい場合でも Quality Cとして採用する。siに関しては、立ち上がり振幅が小さい場合はsiと考えられる変化があっても採用しないこ

表5 各観測点の ssc 及び si の Quality 別データ数, 平均値, 中央値, 標準偏差, 指標目安

	柿岡			女満別			鹿屋			全地点合計		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
データ数	99	200	66	108	219	90	101	214	78	308	633	234
平均	45	22	14	55	26	16	52	24	15	51	24	15
中央値	42	20	13	49	24	14	46	22	13	46	22	13
標準偏差	19	10	7	25	13	8	22	11	7	23	12	7
指標目安	26-	12-32	-21	30-	13-39	-24	30-	13-35	-22	28-	12-36	-22

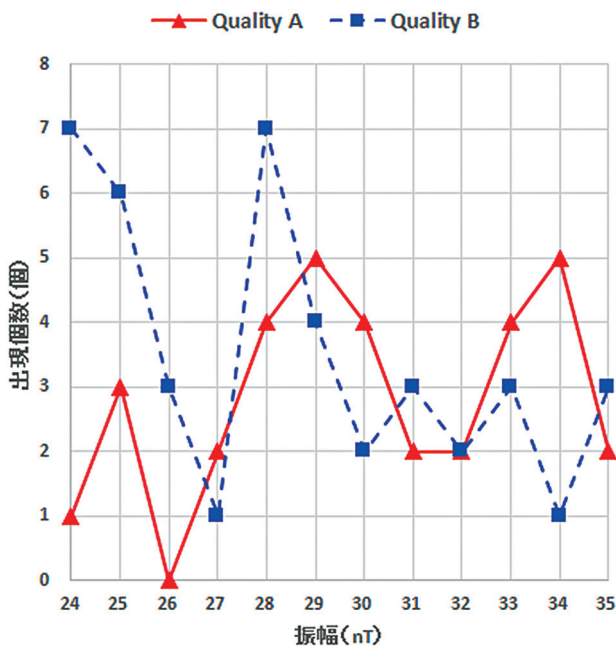


図1 柿岡の Quality A と B の重複部のそれぞれのデータ出現数

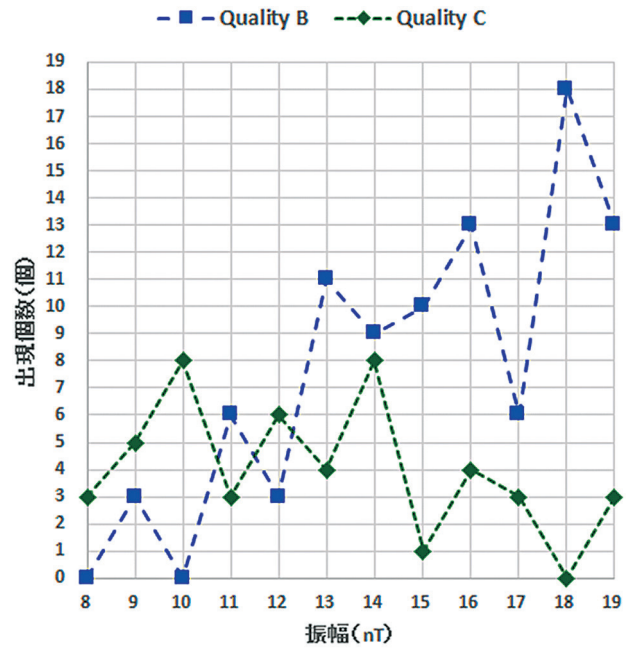


図2 柿岡の Quality B と C の重複部のそれぞれのデータ出現数

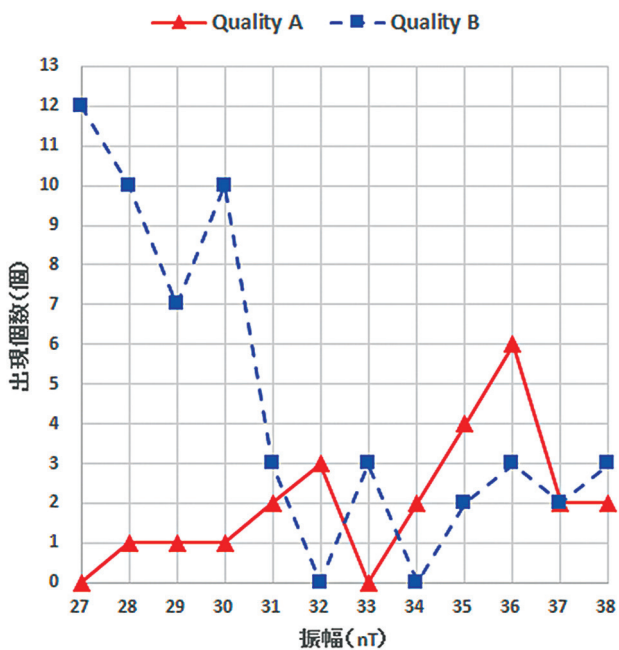


図3 女満別の Quality A と B の重複部のそれぞれのデータ出現数

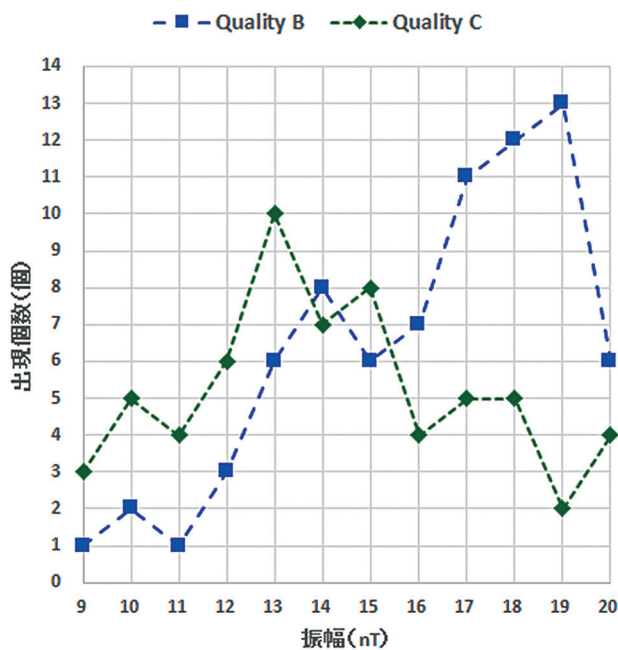


図4 女満別の Quality B と C の重複部のそれぞれのデータ出現数

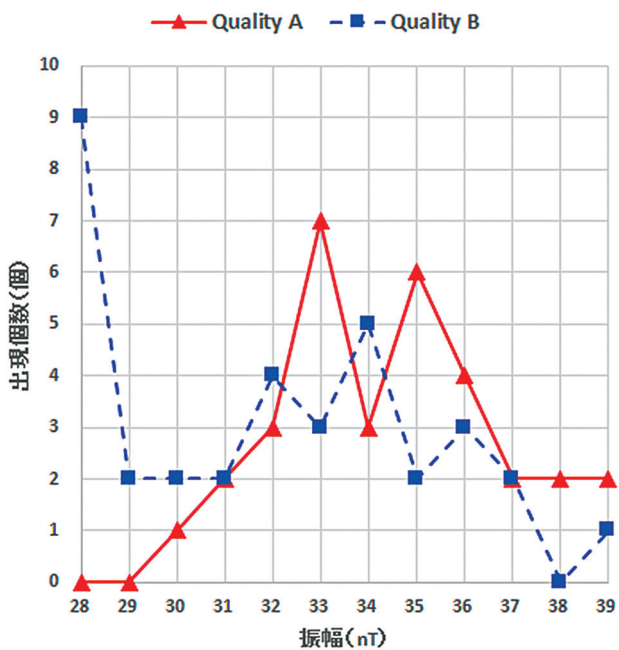


図5 鹿屋の Quality A と B の重複部のそれぞれのデータ出現数

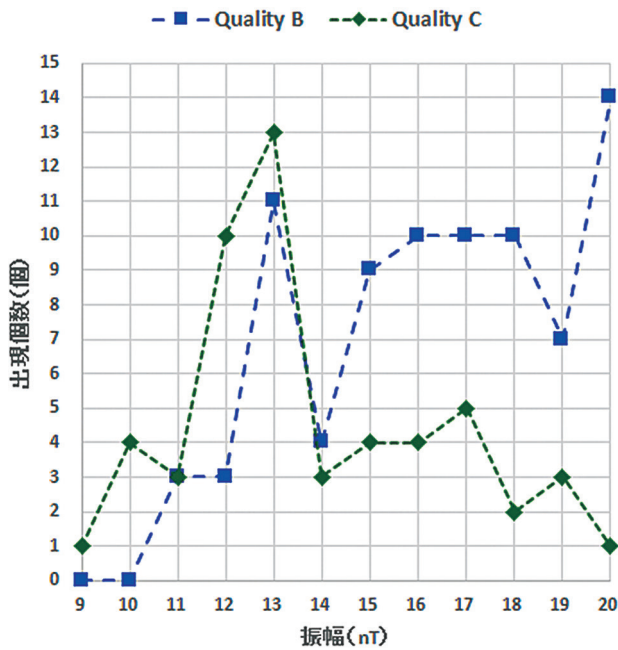


図6 鹿屋の Quality B と C の重複部のそれぞれのデータ出現数

とがあるため、Quality C の下限の閾値も決定しておく必要がある。Quality C は変化率に閾値を設定していないため、全ての Quality C の si を対象に調査を行った。表6に Quality C の si の振幅の平均値、中央値、標準偏差、平均値と標準偏差より求めた指標目安を示す。

3地点共に平均値、中央値、標準偏差はほぼ同様の傾向を示しており、観測点による違いもlnT 柿岡が低いだけとなっている。このことを踏まえ

表6 QualityC の si のデータ数、平均値、中央値、標準偏差、下限目安

	柿岡	女満別	鹿屋	全地点合計
データ数	137	129	131	397
平均値	12	15	14	14
中央値	11	13	13	13
標準偏差	5	7	6	6
下限目安	7-	8-	8-	8-

表7 統計調査により求めた振幅基準の ssc 及び si の Quality 判別基準

振幅によるQuality判別基準			
	A	B	C
柿岡	振幅：29nT以上 (変化率3nT/min以上)	13nT以上28以下 (変化率3nT/min以上)	8nT以上12nT以下 (変化率3nT/min以上) または 8nT以上 (変化率3nT/min以下)
女満別	33nT以上 (変化率3nT/min以上)	15nT以上32以下 (変化率3nT/min以上)	8nT以上14nT以下 (変化率3nT/min以上) または 8nT以上 (変化率3nT/min以下)
鹿屋	33nT以上 (変化率3nT/min以上)	15nT以上32以下 (変化率3nT/min以上)	8nT以上14nT以下 (変化率3nT/min以上) または 8nT以上 (変化率3nT/min以下)

表8 新基準により再判定した1990年から2016年の ssc 及び si の Quality 毎の出現数

観測点	現象種別	現象のQuality			
		A	B	C	D
柿岡	ssc	52	49	36	0
	si	68	151	113	14
女満別	ssc	55	54	31	0
	si	80	160	103	15
鹿屋	ssc	55	49	36	0
	si	71	149	113	10

表9 1990年から2016年の ssc の新基準と従来基準の Quality 毎の出現率

観測点	使用基準	現象のQuality			
		A	B	C	D
柿岡	新基準	37.96	35.77	26.28	0.0%
	従来基準	36.50	39.42	24.09	0.0%
女満別	新基準	38.57	37.14	24.29	0.0%
	従来基準	38.57	41.43	20.00	0.0%
鹿屋	新基準	39.29	35.00	25.71	0.0%
	従来基準	36.43	41.43	22.14	0.0%

Quality C の下限は 3 地点共通で8nT と決定した。

6. 振幅による Quality 判定の検証

本調査で求めた振幅基準の Quality 判定基準をまとめると表7のようになる。この基準（以下新基準という）を使用して、調査に使用した1999年から2016年の ssc 及び si の Quality を再分類しなおして、従来の Quality 基準との違いを確認した。表8に新基準を使用した3観測点の ssc 及び si の Quality 毎の出現数を、表9に ssc の新基準と従来基準の Quality 毎の出現率を、表10に si の新基準と従来基準の Quality 毎の出現率を示す。

表10を見ると、si に関しては全観測点共通で新基準では Quality A の事例が増加していることがわかる。これは従来の Quality 判定基準では α 指数を使用していたため、磁気嵐等の擾乱中に発生した si や磁気嵐にはならなかったものの、si 発生後に地磁

表10 1990年から2016年の si の新基準と従来基準の Quality 毎の出現率

観測点	使用基準	現象のQuality			
		A	B	C	D
柿岡	新基準	19.65	43.64	32.66	4.05
	従来基準	14.16	46.24	39.60	0.00
女満別	新基準	22.19	43.80	29.68	4.32
	従来基準	15.56	47.26	37.18	0.00
鹿屋	新基準	20.70	43.44	32.94	2.92
	従来基準	14.45	46.82	38.73	0.00

気がやや乱れた場合などに、振幅が十分大きい事例でも Quality A ではなく B として判定していたためであろう。

ssc に関してはやや Quality B が減少し Quality C が増加する傾向が見られる。これは従来の ssc の Quality 判定基準では磁気嵐の振幅も加味して ssc

の Quality を決定していたため、振幅が小さい ssc でもその後の磁気嵐の振幅が大きい場合は Quality C ではなく B として判定していたためと推測される。

まとめ

1999年から2016年の18年分のデータを使用して、ssc 及び si の Quality 毎の振幅の分布を調査した。調査結果を元に振幅を使用した ssc・si 共通の Quality 判定基準を決定した。新たに決定した Quality 判定基準を用いて1999年から2016年の ssc 及び si の Quality を再判定し、従来の Quality 分布との違いを検証した。ssc の Quality C の中には si の Quality C の下限値よりも小さい振幅の現象が含まれる点を除けば、従来の基準で判定した Quality 分布を大きく変えることなく、si の Quality C の下限以下の振幅を持つ現象について、ssc 及び si の共通 Quality 判定基準を定められ、同振幅で Quality

が異なるという問題が解消された。

謝辞

本研究を実施するにあたり、過去の Quality C の si の再読取り作業にご協力いただいた、吉村純氏、笹岡雅宏氏、山崎貴之氏、海東恵美氏、吉武由紀氏（技術課）、平原秀行氏（観測課）、秋元良太郎氏（網走地磁気観測連絡事務所）、佐々木敬悟氏（銚子地方気象台）に感謝いたします。

引用文献

IAGA symposium on rapid magnetic variations and Provisional atlas of rapid variations, pp.669-700, 1961
地磁気観測所, 地磁気観測所技術報告 第26巻 特別号 観測指針 -絶対観測, 変化観測-, pp.183-191, 1987
来栖喜久男, IGY (1957年7月~1958年)~1968年の地磁気嵐と ssc の Quality について, 地磁気観測所要報 第14巻 第01号, pp39-66, 1971

Reconsideration of the quality evaluation criteria of geomagnetic sudden impulse phenomena (ssc and si)

by

Kenji MORINAGA and Takashi OHKAWA

Kakioka Magnetic Observatory

Received 14 November 2019; accepted 11 December 2019; published 17 March 2020

Abstract

The generation mechanisms of ssc (storm sudden commencement) and si (sudden impulse) geomagnetic phenomena are the same. However, the quality criteria for expressing the clarity of the phenomena were different. To standardize the quality criteria for ssc and si, we investigated statistically the relationship between the amplitude and the quality of each phenomenon. Based on our results, we introduced new quality criteria for ssc and si as determined by amplitude.