

地磁気世界資料解析センター News

1. 新着地磁気データ

前回ニュース（2020年7月30日発行、No.182）以降入手、または、当センターで入力したデータのうち、オンラインデータ以外の主なものは以下のとおりです。

オンライン利用データの詳細は（<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/catmap/index-j.html>）を、観測所名の省略記号等については、観測所カタログ（<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/catmap/obs-j.html>）をご参照ください。

また、先週の新着オンライン利用可データは、（<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/onnew/onnew-j.html>）で御覧になれば、ほぼ2ヶ月前までさかのぼることもできます。

2. ASY/SYM 指数

2020年7-8月のASY/SYM指数を算出し、ホームページに載せました。

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aeasy/index-j.html>

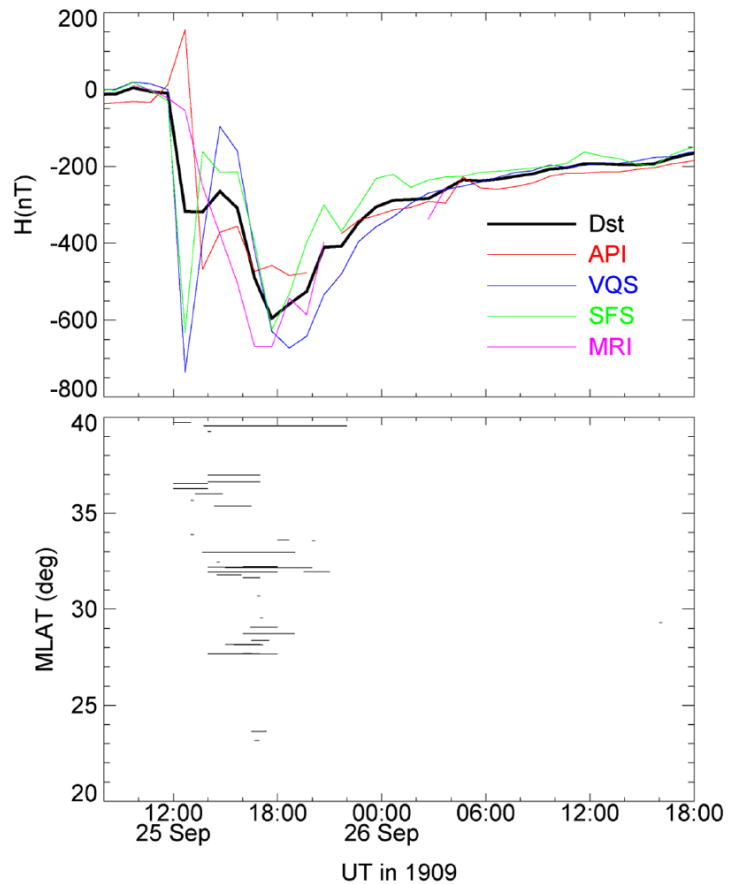
3. 過去の激甚磁気嵐の規模推定の試み

通信網や電力網など科学技術インフラに日に日に依存を強める現代社会にとって、磁気嵐の中でも特に規模の大きなものは日々脅威を増しつつある新たな災害である（Baker *et al.*, 2008; Riley *et al.*, 2018）。このような磁気嵐の規模は、1957～1958年の国際地球観測年以降、中・低緯度の観測地点（KAK, HER, SJG, HONの四地点）での地磁気水平成分の擾乱の平均値から京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センターで計算されるDst指数の振幅によって直接的に評価されてきた（Sugiura, 1964; Sugiura and Kamei, 1991; WDC for Geomagnetism at Kyoto *et al.*, 2015）。この中でも特に規模の大きかったのは1989年3月の激甚磁気嵐で、そのDst指数最小値は-589 nTに達し、カナダのケベック州での大規模な停電をはじめ、世界各地で大規模な影響を引き起こしたことが知られている（*e.g.*, Boteler, 2019）。

幸か不幸かこのような激甚磁気嵐はそう頻繁には発生しない。Dst指数最小値が-500 nTよりも下がったのは過去63年間この一度きりで、Dst指数最小値が-400 nTを越えたのも全部で五回に過ぎない（WDC for Geomagnetism at Kyoto *et al.*, 2015; Riley *et al.*, 2018）。一方、推定に多分の不確定性を含むものの、1859年9月にはこの1989年3月の磁気嵐をはるかに超える規模の磁気嵐が発生したと考えられており（Tsurutani *et al.*, 2003; Cliver and Dietrich, 2013; Hayakawa *et al.*, 2019b）、今日発生した場合の甚大な被害が懸念される（Baker *et al.*, 2008）。そのため、両者の間を時間面でも規模面で埋めるためにも、Dst指数が整備される以前の過去の激甚磁気嵐の定量的な規模推定が必要になる。

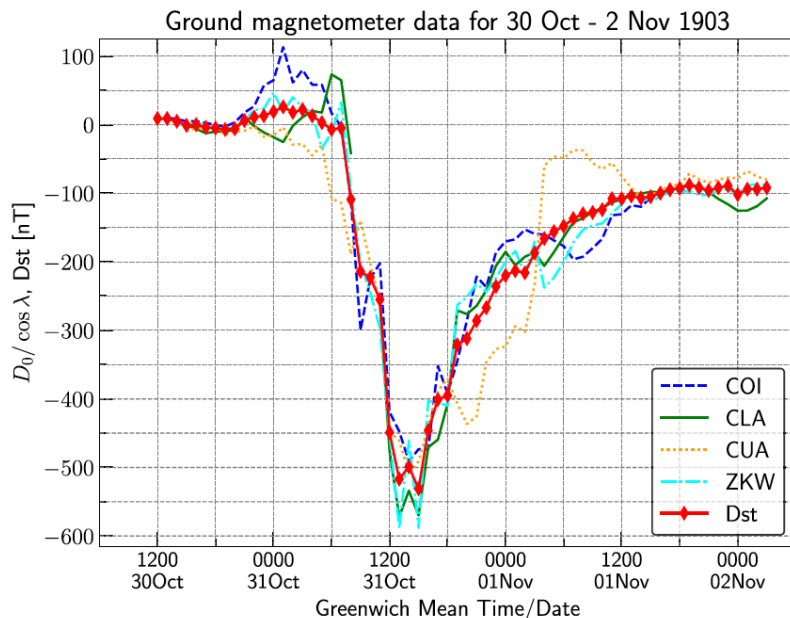
Dst指数を過去の激甚磁気嵐に対して直接的に延伸することは、基準観測所（KAK, HER, SJG, HONの四地点）の運用年代の制約や、磁力計の振り切れなどの問題もあって極めて困難である。一方、このような基準観測所以外にも過去中低緯度で地磁気観測を行っていた観測所もいくらか見受けられる。幸い、地磁気世界資料解析センターでは19世紀末以来の世界各地の地磁気観測の数値データが公開され、その元になった観測所の年報のコピーが保管されていることも多い。そのため、Dst指数以前の激甚磁気嵐についても、中・低緯度の類似の観測地点の地磁気観測データを一時間地の切れ目の少なさと経度面での分散に注意して選択し、Dst指数計算と類似の計算手法を当てはめることで、定量評価が可能になると考えられる。

そのため、今回は激甚磁気嵐の際にしばしば見られる低緯度オーロラの広がりや中低緯度での磁力計の振り切れを手がかりに、過去の激甚磁気嵐の規模の定量評価を試みた。まず目をつけたのが大規模な低緯度オーロラが報告された1909年9月と1921年5月の激甚磁気嵐である。同時代観測記録を検討する限り1909年9月には瀬戸内海沿岸の松山まで、1921年5月には南太平洋のサモア島まで低緯度オーロラが見えていたが (Silverman and Cliver, 2001; Hayakawa *et al.*, 2019a, 2019b)、その際の磁気嵐を大きな切れ目なしに記録できた観測データを各々四地点探した結果、前者については Mauritius, San Fernando, Vieques, Apia、後者については Watheroo, San Fernando, Vassouras, Apia の観測データが条件に合うことがわかった。USGS の Jeffrey Love 氏や NSO の Edward Cliver 氏等との共同研究を通して、これらの観測地点での水平成分の変動の一時間値を導出し、各観測地点の水平成分の基準線 (baseline) と Sq 場の日変化を pre-storm level で近似して割り引いて、各観測地点での変動の平均をとった。この結果、1909年9月の激甚磁気嵐では17時半頃に Dst 推定値が -595 nT に (Hayakawa *et al.*, 2019a; Love *et al.*, 2019a; 図1)、1921年5月の激甚磁気嵐では5時半頃に Dst 推定値が -907 ± 132 nT に (Love *et al.*, 2019b)、各々達していたことが明らかになった。このような規模は各々1989年3月の激甚磁気嵐の規模の等倍や1.5倍に達しており、Dst 指数史上最大規模、そしてそれ以上の激甚磁気嵐が発生していたことを実証する。特に前者では磁気嵐のピークと日本で低緯度オーロラと通信障害の報告されたタイミングが符合し、本邦における初期の宇宙天気災害の事例としても興味深い (Hayakawa *et al.*, 2019a)。

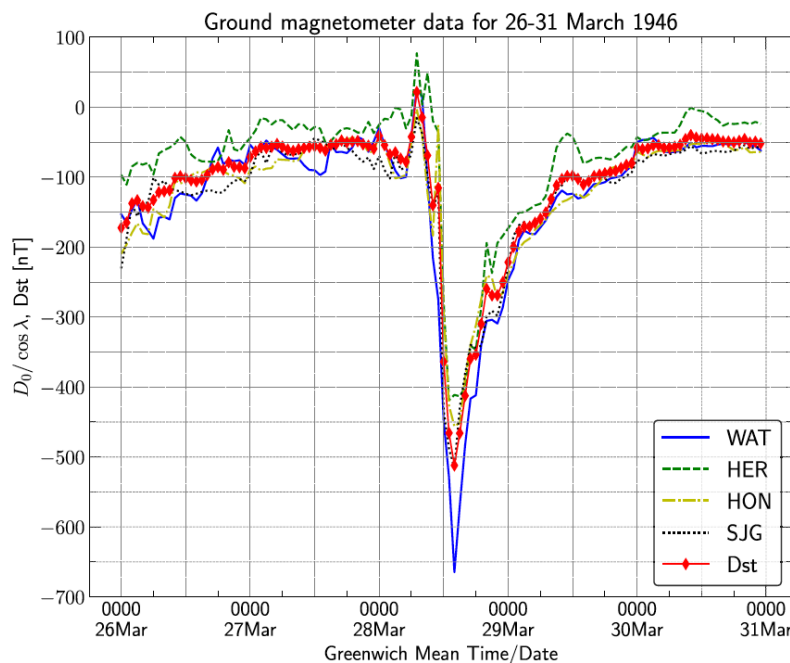


<図1：1909年9月25日の激甚磁気嵐の Dst 推定値の復元と低緯度オーロラの報告時間。低緯度オーロラの報告がいずれも磁気嵐の主相に集中していることがわかる。Hayakawa *et al.* (2019a) より再録。>

次に注目したのが、史上初めてイベリア半島で宇宙天気由来の通信障害が報告された1903年10/11月の激甚磁気嵐である (Ribeiro *et al.*, 2016)。この磁気嵐は年代的にも古く、中低緯度の観測地点が少なかった上、東京や西半球各地の観測所を始め、多くの磁力計が振り切れていたが、それでも世界各地の観測所の観測記録の調査結果、清の Zi-ka-wei, ポルトガルの Coimbra, メキシコの Cuaajimalpa の四地点で良質な観測データが残されていたことが分かった。また英領インドの Colaba のマグネトグラムは地磁気世界資料解析センターで公開されている画像から基準線が何度か動いていることが分かったが、これらを補正した結果、8.7~10.2 UT の切れ目を除き、他の観測所のデータと同様水平成分の一時間値を導出できるようになった。また、各観測地点の基準線と Sq 場の推定にあたっては以前の手法を改良し、各々、各観測所の磁場の永年変化の一年値、aa 指数から導出される静穏日5日分の平均値で近似し、水平成分変動の一時間値から割り引いた。その上で各観測所での変動幅の平均をとった結果、この磁気嵐の際は、15 UT 頃に Dst 推定値が -531 nT に到達していたことが明らかになった (図2)。この数値は Dst 指数史上最大の1989年3月の磁気嵐 (Dst = -589 nT) にこそ劣るものの、第二位の1959年7月の磁気嵐 (Dst = -429 nT) を遥かに上回る規模のものである。このような巨大な磁気嵐が太陽活動の低調な SC (Solar Cycle) 14 の極小期直後に発生した事実は特筆に値する (Hayakawa *et al.*, 2020a)。



<図 2 : 1903 年 10 月 30 日～11 月 2 日の Dst 推定値の復元と Coimbra (COI), Colaba (CLA), Cuajimalpa (CUA), Zi-ka-wei (ZKW) の水平成分の変動。Hayakawa et al. (2020a) より再録。>



<図 3 : 1946 年 3 月 26 日～31 日の Dst 推定値の復元。Hayakawa et al. (2020b) より再録。>

1940 年代も激甚磁気嵐の発生の観点から特筆に値する年代である。この頃には Dst 指数の基準観測所の観測が概ね始まっていたが、1941 年 3 月の磁気嵐ではこの内 KAK, SJG, HON の三地点、1946 年 3 月の磁気嵐では KAK にて磁力計が振り切れ、これらの磁気嵐の計測は不完全に終わった。そこで、前者については Watheroo, Apia, Tucson の計測記録を、後者については Watheroo の計測記録を代用し、1903 年 10/11 月の磁

気嵐の規模推定の際と同様の手法で Dst 推定値を求めた。この結果、これらの磁気嵐は各々と 16 UT と 14 UT 頃に ≤ -464 nT, ≤ -512 nT に達していたことが復元された (図 3)。この規模はいずれも Dst 指数観測史上最大の磁気嵐と第二位の磁気嵐の間の規模のもの出会ったことになる (Hayakawa et al., 2020b, 2020c)。

このように、Dst 指数の計測の始まる国際地球観測年以前の激甚磁気嵐についても、京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センターなどで保存・公開の進められている過去の地磁気観測データからその規模、発展の過程などについて定量的に多くのことが明らかになり、近代観測以降の磁気嵐との比較検討の基礎と成すことが可能である。このような事例研究を積み重ねることで、激甚磁気嵐の発生頻度や近代インフラへの影響の推定 (e.g., Riley and Love, 2017; Riley et al., 2018; Oliveira et al., 2020) などをより精密に行うことが可能になる。改めて、その基礎になるのは過去の磁力計の計測データや年報告である。地磁気世界資料解析センターで進められている各資料のデジタル化の推進は今後このような復元研究を進めていく上で極めて重要な基礎を作ることになる。特に古い年代のデータの整備・公開は急務で、今後の地磁気世界資料解析センターでの拡充が期待される。最後に、この一連の研究に関わってくださった共著者各位、このような貴重な記録へのアクセスを可能にしてくださっている地磁気世界資料解析センターの関係者各位、そして磁気嵐の当時計測を行った各観測所の観測者各位への感謝の念を示して筆を擱きたい。

参考文献

- Baker, D. N., et al.: 2008, *Severe Space Weather Events— Understanding Societal and Economic Impacts*, Washington DC, National Academies Press.
- Boteler, D. H.: 2019, A 21st Century View of the March 1989 Magnetic Storm, *Space Weather*, **17**, 1427-1441. DOI: 10.1029/2019SW002278.
- Cliver, E. W., Dietrich, W. F.: 2013, The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity, *Journal of Space Weather and Space Climate*, **3**, A31. DOI: 10.1051/swsc/2013053.
- Hayakawa, H., Blake, S. P., Bhaskar, A., Hattori, K., Oliveira, D. M., Ebihara, Y. (2020c) The Extreme Space Weather Event in February/March 1941, *The Astrophysical Journal*. DOI: 10.3847/1538-4357/abb772.
- Hayakawa, H., Ebihara, Y., Cliver, E. W., Hattori, K., Toriumi, S., Love, J. J., Umemura, N., Namekata, K., Sakaue, T., Takahashi, T., Shibata, K. (2019a) The Extreme Space Weather Event in September 1909, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **484**, 4083-4099. doi: 10.1093/mnras/sty3196.
- Hayakawa, H., Ebihara, Y., Willis, D. M., Toriumi, S., Iju, T., Hattori, K., Wild, M. N., Oliveira, D. M., Ermolli, I., Ribeiro, J. R., Correia, A. P., Ribeiro, A. I., Knipp, D. J. (2019) Temporal and Spatial Evolutions of a Large Sunspot Group and Great Auroral Storms around the Carrington Event in 1859, *Space Weather*, **17**, 1553– 1569. DOI: 10.1029/2019SW002269.
- Hayakawa, H., Ebihara, Y., Pevtsov, A. A., Bhaskar, A., Karachik, N., Oliveira, D. M. (2020b) Intensity and time series of extreme solar-terrestrial storm in March 1946, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **497**, 5507–5517. DOI: 10.1093/mnras/staa1508.
- Hayakawa, H., Ribeiro, P., Vaquero, J. M., Gallego, M.-C., Knipp, D. J., Mekhaldi, F., Bhaskar, A., Oliveira, D. M., Notsu, Y., Carrasco, V. M. S., Caccavari, A., Veenadhari, B., Mukherjee, S., Ebihara, Y. (2020a) The Extreme Space Weather Event in 1903 October/November: An Outburst from the Quiet Sun *The Astrophysical Journal Letters*, **897**, L10. DOI: 10.3847/2041-8213/ab6a18.
- Love, J. J., Hayakawa, H., Cliver, E. W. (2019a) On the intensity of the magnetic superstorm of September 1909, *Space Weather*, **17**, 37–45. DOI: 10.1029/2018SW002079.
- Love, J. J., Hayakawa, H., Cliver, E. W. (2019b) Intensity and impact of the New York Railroad superstorm of May 1921, *Space Weather*, **17**, 1281–1292. DOI: 10.1029/2019SW002250.
- Oliveira, D. M., Zesta, E., Hayakawa, H., Bhaskar, A. T.: 2020, Estimating Satellite Orbital Drag During Historical Magnetic Superstorms, *Space Weather*, **18**, e2020SW002472. DOI: 10.1029/2020SW002472.
- Ribeiro, P., Vaquero, J. M., Gallego, M. C., Trigo, R. M.: 2016, The First Documented Space Weather Event That Perturbed the Communication Networks in Iberia, *Space Weather*, **14**, 464-468. DOI: 10.1002/2016SW001424.
- Riley, P., Baker, D., Liu, Y. D., Verronen, P., Singer, H., Güdel, M.: 2018, Extreme Space Weather Events: From Cradle to Grave, *Space Science Reviews*, **214**, 21. DOI: 10.1007/s11214-017-0456-3.
- Riley, P., Love, J. J.: 2017, Extreme geomagnetic storms: Probabilistic forecasts and their uncertainties, *Space Weather*, **15**, 53-64. DOI: 10.1002/2016SW001470.
- Silverman, S. M., Cliver, E. W.: 2001, Low-latitude auroras: the magnetic storm of 14-15 May 1921, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **63**, 523-535. DOI: 10.1016/S1364-6826(00)00174-7.
- Sugiura, M.: 1964, Hourly value of equatorial Dst for the IGY. *Geophysical Journal International Year*, **35**, 9–45.
- Sugiura, M., Kamei, T.: 1991, Equatorial Dst Index 1957-1986, *IAGA Bull.*, **40**, Saint Maur des Fosses, France: ISGI Publication Office, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/dst2/onDstindex.html>.
- Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Lakhina, G. S., Alex, S.: 2003, The extreme magnetic storm of 1-2 September 1859, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **108**, A7, 1268, DOI: 10.1029/2002JA009504.
- WDC for Geomagnetism at Kyoto, Nose, M., Iyemori, T., Sugiura, M., Kamei, T.: 2015, Geomagnetic Dst index, DOI: 10.17593/14515-74000.

(早川 尚志 — 名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

4. 訃報

前田 坦・初代センター長（京都大学理学部名誉教授）は、2020年8月26日逝去されました。（享年100歳）