

## Variations in the Inferred Cosmic-Ray Spectral Index as Measured by Neutron Monitors in Antarctica

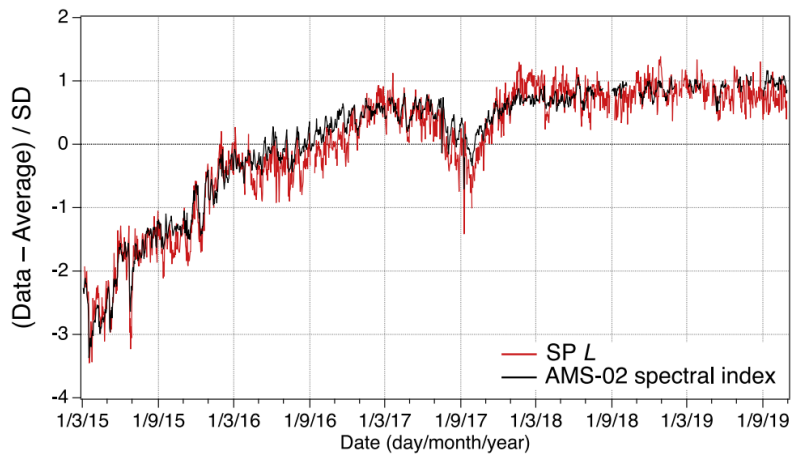
การแปรเปลี่ยนในดัชนีสเปกตรัมของรังสีคอสมิกที่วัดโดยเครื่องตรวจวัดนิวตรอนที่แอนตาร์กติกา

(P. Muangha, D. Ruffolo\*, A. Sáiz, C. Banglieng, P. Evenson, S. Seunarine, S. Oh, J. Jung, M. Duldig, and J. Humble, Variations in the Cosmic Ray Spectrum as Measured by Neutron Monitors in Antarctica, *Astrophys. J.*, **974**, 284 (4.8) <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad73d6>)

A technique has recently been developed for tracking short-term spectral variations in Galactic cosmic rays (GCRs) using data from a single neutron monitor (NM), by collecting histograms of the time delay between successive neutron counts and extracting the leader fraction  $L$  as a proxy of the spectral index. Here we analyze  $L$  from four Antarctic NMs from 2015 March to 2023 September. We have calibrated  $L$  from the South Pole NM with respect to a daily spectral index determined from published data of GCR proton fluxes during 2015–2019 from the Alpha Magnetic Spectrometer (AMS-02) on board the International Space Station. Our results demonstrate a robust correlation between the leader fraction and the spectral index fit over the rigidity range 2.97–16.6 GV for AMS-02 data, with uncertainty of 0.018 in the daily spectral index as inferred from  $L$ . In addition to the 11 yr solar activity cycle, a wavelet analysis confirms a 27 day periodicity in the GCR flux and spectral index corresponding to solar rotation, especially near sunspot minimum, while the flux occasionally exhibits a strong harmonic at 13.5 days. The magnetic field component along a nominal Parker spiral (i.e., the magnetic sector structure) is a strong determinant of such spectral and flux variations, with the solar wind speed exerting an additional, nearly rigidity-independent influence on flux variations. Our investigation affirms the capability of ground-based NM stations to accurately and continuously monitor cosmic-ray spectral variations over the long-term future.

เมื่อเร็ว ๆ นี้ เราได้พัฒนาเทคนิคสำหรับการติดตามการแปรเปลี่ยนระยะสั้นในสเปกตรัมของรังสีคอสมิกจากกาแล็กซี (Galactic cosmic rays, GCRs) (ที่นี้ สเปกตรัม หมายถึงฟลักซ์ต่อริจิดิตี โดยริจิดิตีคือโมเมนต์ต่อประจุ ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานของอนุภาค) โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดนิวตรอน (neutron monitor, NM) หนึ่งเครื่อง โดยสะสมฮิสโตแกรมของระยะเวลาระหว่างการนับนิวตรอนแต่ละครั้ง และคำนวณสัดส่วนตัวนำ (leader fraction  $L$ ) ซึ่งบ่งบอกดัชนีสเปกตรัม (กล่าวคือ ความชันแบบ log-log ในฟลักซ์ต่อริจิดิตี) ในงานนี้ เราได้วิเคราะห์  $L$  จาก NMs 4 สถานีในทวีปแอนตาร์กติกา ตั้งแต่เดือนมีนาคมปี ค.ศ. 2015 จนกระทั่งเดือนกันยายนปี ค.ศ. 2023 และเราได้สอบเทียบระหว่าง  $L$  จาก NM ที่ขั้วโลกใต้ กับดัชนีสเปกตรัมประจำวันที่เราคำนวณจากข้อมูลที่ตีพิมพ์แล้วของอนุภาคโปรตอนใน GCRs ระหว่าง 2015-2019 ที่วัดโดย Alpha Magnetic Spectrometer (AMS-02) บนสถานีอวกาศนานาชาติ ผลลัพธ์นั้นแสดงว่า  $L$  มีคอร์ริเลชันที่ดีกับดัชนีสเปกตรัมจากการฟิตข้อมูลในช่วงริจิดิตี 2.97-16.6 GV จากข้อมูล AMS-02 โดยมีความคลาดเคลื่อน 0.018 ในดัชนีประจำวันที่บ่งบอกจากค่า  $L$  นอกจากการขึ้นกับวัฏจักร 11 ปี

ของจุดมืดบนดวงอาทิตย์ การวิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ตยืนยันการมีคาบ 27 วันในฟลักซ์และดัชนีสเปกตรัมของ GCR เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีจุดมืดน้อย ขณะที่ฟลักซ์ในช่วงเวลาแสดง ฮาร์มอนิกด้วยคาบ 13.5 วัน องค์ประกอบของสนามแม่เหล็กตามทิศทางเฉลี่ยของ Parker spiral ซึ่งบ่งบอกถึง เซกเตอร์ทางสนามแม่เหล็ก (ออกจากดวงอาทิตย์ หรือเข้าสู่ดวงอาทิตย์) มีบทบาทสำคัญในการแปรเปลี่ยนของ สเปกตรัมและฟลักซ์ ขณะที่ความเร็วลมสุริยะมีผลกระทบเพิ่มเติมต่อการเปลี่ยนฟลักซ์ที่แทบไม่ขึ้นกับบริจิติ งานวิจัยของเราแสดงถึงความสามารถของเครื่องสถานี NM บนพื้นโลกที่จะติดตามอย่างแม่นยำและต่อเนื่อง เกี่ยวกับการ แปรเปลี่ยนในสเปกตรัมรังสีคอสมิกในอนาคตันไกล



**Figure 2.** Normalized daily values of the SP leader fraction (red) and AMS-02 proton spectral index (2.97–16.6 GV; black) from 2015 March 3 to 2019 October 29, when both SP *L* and AMS-02 proton data were available, confirming that *L* serves as a proxy of the cosmic-ray proton spectral index.