

# インドネシアにおけるエルニーニョ現象と

## 泥炭火災による大気汚染

早坂 洋史 (道水文気候研)

### 1. はじめに

エルニーニョ現象が発生すると、太平洋の熱帯域で東風が弱まり、積乱雲が盛んに発生する海域が平常時より東に移動する(気象庁<sup>1)</sup>)。この雨域移動の結果、インドネシアでは乾期の降水量が減り、泥炭火災が激しくなる傾向がよく知られている。2014年9月頃より、太平洋赤道付近のエルニーニョ監視域の海水表面温度が平年値と比べて高くなり始め、2015年秋には+2°Cを越し、1997-1998年以来のスーパーエルニーニョ現象が発生した。エルニーニョ現象が事前に予測されていたにも拘わらず、2015年秋に、インドネシアのカリマンタン島、スマトラ島では泥炭火災を抑制できず、激しい大気汚染が生じた。ヘイズは近隣のシンガポールなどばかりでなく、遠くはフィリピンのセブ島にも到達した。このスーパーエルニーニョ期間の激しい森林・泥炭火災から排出された二酸化炭素の見積量も膨大で、国際的な大問題となっている。既に多くの国からの火災防止への種々の支援と技術や科学情報の蓄積があったにも拘わらず、大火災が発生した。2015年のスーパーエルニーニョ期間の大火災は、国家プロジェクト級の対応策の策定と実行の必要性を示唆している。本報では、インドネシア・中央カリマンタンの州都パラランカラヤ近くで行われたメガライスプロジェクト(Mega Rice Project(MRP)、百万ヘクタール米作計画)地区での森林・泥炭火災の発生とそれに伴うヘイズの現状について調べた結果を報告する。

### 2. 火災、大気汚染、降雨データ

衛星が検知した異常高温(ホットスポット、以後HSと略)を火災の指標とした。1997~2001年のHSデータは、JICAのインドネシア火災プロジェクト(FPFFP, 1996-2001、ランドサット衛星のAVHRRセンサ)から入手した。2002~2015年のHSデータ<sup>2)</sup>は、NASAのテラとアクアの両衛星に搭載されたセンサMODISが検知したHSを使った。気象と大気汚染データは、中央カリマンタン州パラランカラヤ空港気象台で測定した雨量、視程、PM10の各データを使った。エルニーニョに関しては、アメリカ海洋大気庁(National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA))の定義に準拠し、NINO3.4海域(5°S-5°N, 170°W-120°W)の海面温度(SST)の偏差データ<sup>3)</sup>を使った。高層天気図はNOAAのNCEP/NCAR Reanalysis data<sup>4)</sup>を使った。外向き長波放射量(OLR: Outgoing Long-wave Radiation)の平年偏差<sup>5)</sup>は、気象庁のWebページから入手した。

### 3. メガライスプロジェクトと泥炭地

図1の地図に、カリマンタン島カリマンタン州の泥炭分布(濃い色の部分)、A~Eの5ブロックからなるMRP地区、セバンガウ国立公園、パラランカラヤなどの位置を示した。MRPの各ブロックの境界線は、川などで区分しているが、ここでは緯度経度線を使って、大まかに区分して示してある。この論文では、図1に

最大の矩形で示した領域（1.75-3.5°S, 113.5-115°E）でのHSを集計した。この領域は、MRPの周辺域を含むため、“MRP+”と表現する。この“MRP+”領域の面積は約32,300km<sup>2</sup>で、カリマンタンの面積725,500km<sup>2</sup>の4.5%しかない。一方で、泥炭地の面積は、中央カリマンタンは約30,100km<sup>2</sup>で、カリマンタンの泥炭地面積57,600km<sup>2</sup>と比べると、52%(1/1.91)と、相当量の泥炭が中央カリマンタンに集中している。このうち、図1のMRP+の泥炭地の面積は、カリマンタンのおおよそ30%ほどである。

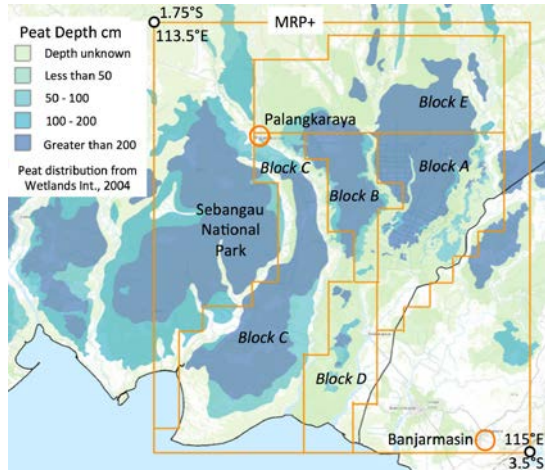


図1 中央カリマンタンの泥炭地とMRP+地域

#### 4. データの分析結果

##### 4.1 月毎のホットスポット数とエルニーニョ

1997~2015年の毎月のHS数と月平均SST偏差値の推移を図2に示した。図2から、カリマンタンでは、主に乾期の6-10月に火災が発生しており、SST偏差値が大きいほど、HS数も大きく、相関関係が見られる。特に、月SST偏差値が+1℃を越えたエルニーニョ年では、月のHS数が2万個を越えた。SST偏差値が+2℃を越えた1997-1998年のスーパーエルニーニョでは、HS数は特に大きかった。さらに、1998年2-4月に東カリマンタンで日照りが生じ、雨期にも拘わらず大火災が発生した。2016年2-4月の東カリマンタン大火災が危惧されている。

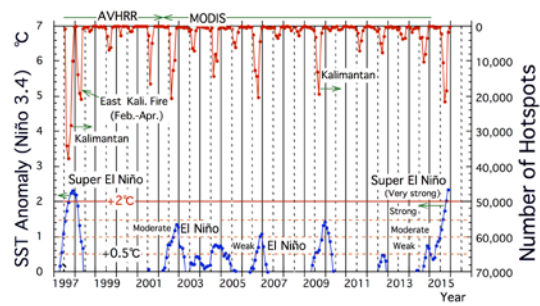


図2 カリマンタンのHSと月平均SST偏差値

##### 4.2 エルニーニョ期間中の乾期

図3に、パランカラヤの日雨量の積算値を示した。破線で示した1978-2014年の平均積算値曲線から、雨期と乾期での平均日降雨量が求められた。乾期3.9mm日<sup>-1</sup>と雨期10mm日<sup>-1</sup>である。一方の、エルニーニョ年の1997,2002,2009,2015年の乾期の積算値曲線は、ほぼ平らな直線となり、雨がほとんど降らない日照り状態(<2.0mm日<sup>-1</sup>)であることがわかる。特に、1997年のスーパーエルニーニョの時は、通常よりも乾期が長く、日降雨量も0.8mm日<sup>-1</sup>と最小であった。

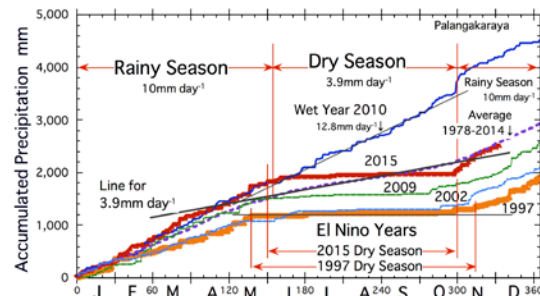


図3 パランカラヤの乾期と雨期の積算日降雨量

##### 4.3 エルニーニョと対流活動

エルニーニョ発生時のインドネシア付近での乾期中の気象と対流活動を把握するため、ここでは、高層天気図(600hPa)と外向き長波放射量(OLR)の偏差値分布を図4と図5に示した。図4は、2015年8月より10月の中層600hPaでの平均高度分布図で、4425mの高圧部がジャワ島の南東に形成されているのがわかる。図5のOLR偏差値分布図からは、スマトラ

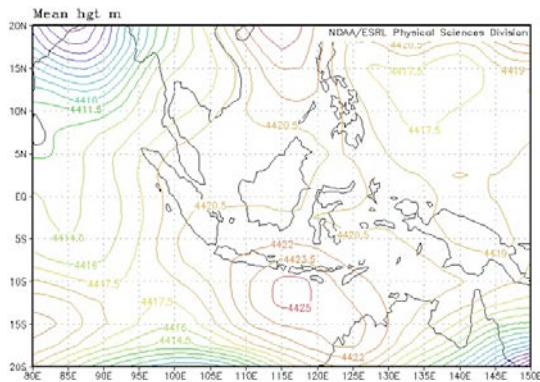


図4 2015年8月～10月高層天気図 (600hPa)

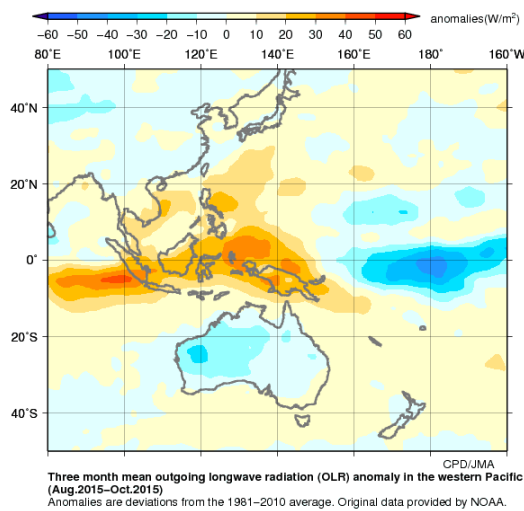


図5 外向き長波放射量偏差値分布

島西部からニューギニア島東部まで、インドネシア全域での対流活動が平年と比べ抑制され、一方、インドネシア東部の赤道上では対流が活発な傾向がわかる。

なお、1997年の図4、5と同様な図では、平均高度がさらに高い4426.5mの高圧部が、さらに広範囲に広がって、チモール上空に形成された。逆に、ラニーニャ現象で多雨の乾期であった、2010年の図4、5と同様な図では、平均高度の高い領域はオーストラリア東方に移動し、4405mのより低い高圧部が、カリマンタン島上空に形成され、インドネシアのほぼ全域が活発な対流活動を示し、インドネシア東部の赤道上では対流が不活発な傾向を示していた。

#### 4.4 2015年の火災の発生傾向

図6に、カリマンタンとMRP+の日HS数の推移とパランカラヤでの日降水量を示した。図6より2015年の乾期は5月下旬頃より始まり、10月下旬頃まで続いた。火災の方は、図6より8月中旬頃より顕著になっている傾向が見てとれる。この乾期入りからの数ヶ月の時間差は、主として、熱帯湿地林での水位の低下に伴う火災の燃料である地上植生が十分乾燥し火災発生条件に達する乾燥期間と考えられる。9月中旬頃より、日HS数が2千個を越える激しい火災が発生する傾向が見られる。9月23日にはMRP+域での日HS数が約1.2千個となり、この日のHS数の約57%がMRP+域で検知された。乾期の終わる直前の10月14日には、最大HS数2,890個が検知された。これらの火災傾向は、9月中旬頃には地下水水位が低下し、乾燥し可燃範囲となった泥炭層の厚さが増え、泥炭火災が活発化した、ことで説明できる。

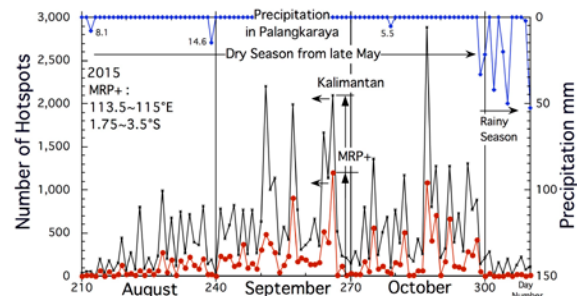


図6 カリマンタンとMRP+の日HS数

最大HS数10月14日の衛星画像を図7に示した。衛星画像の赤い印はHSを示しており、火災が活発な地域は、パランカラヤ東方のMRP北部域、MRP南部のブロックC、これにMRP+域の西南部の泥炭地域であると見てとれる。また、火災の煙の広がり方、濃さ、色から、風向きや火災の激しさを推測できる。図7の海岸近くの火災から、風向きは主に南東で、内陸になるほど、特にMRP+域北部では、北向きに変わり、煙も広がり色も濃くなっていることが見てとれる。煙

の濃くなっている所はほぼ泥炭地であり、泥炭地での地上植生と泥炭の火災が活発化していると推測できる。

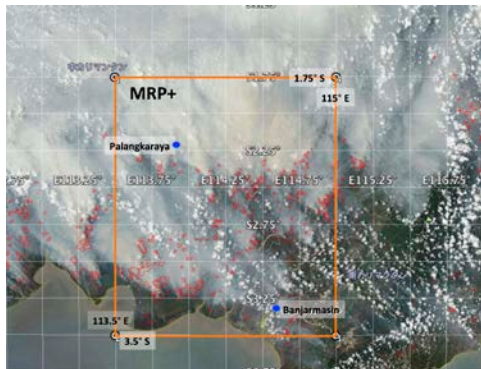


図7 HS数最大日の衛星画像

#### 4. 5 PM10、視程の日変化

図8に、PM10と視程(最低、日平均)の日変化を示した。8月頃からの火災の活発化で、視程が急激に下がる一方で、PM10は9月中旬より急激に上昇、大気汚染指標の危険域(API > 300)となり、PM10 > 420 × 10<sup>-6</sup> g m<sup>-3</sup>が10月下旬の雨期の直前まで継続する。このPM10の傾向は、泥炭火災の活発化を示唆している。PM10の最高値は、10月21日に3,245 × 10<sup>-6</sup> g m<sup>-3</sup>が観測された。最大HS数出現日の10月14日から一週間後であった。この時間差は、地表の植生の火災が活発化し、その後、泥炭火災が地下で活発化したためであると言える。

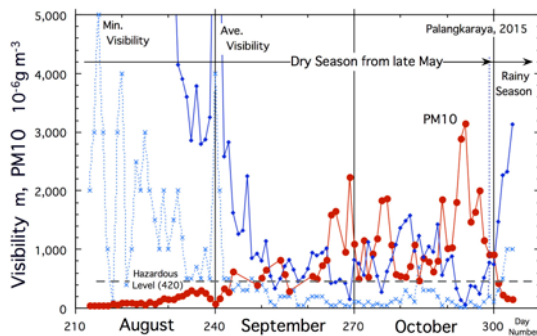


図8 PM10、最低と平均視程の日変化

PM10最高濃度の10月21日の衛星画像を図9に示した。図9の衛星画像からは、MRP+域北側の半分以上は濃い煙(ヘイズ)に覆われていることが見てとれる。一方で、泥炭火災は地中化で地表面温度は低いため、衛星によるHS検知はほとんど出来ていない。

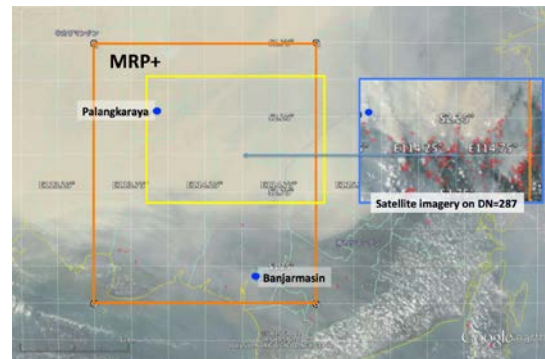


図9 PM10最高濃度日の衛星画像

謝辞：本研究の一部は、環境庁、環境研究総合推進費、自然共生型社会(課題番号4-1506)と文部科学省研究課題(先端計測分析技術・機器開発プログラム「CO<sub>2</sub>大気カラム濃度自動計測装置の活用・普及促進」)の支援を受けた。

参考文献：

- 1) 気象庁 (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/faq/whatiselnino.html>)
- 2) NASA MODIS, Rapid Response System (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>)
- 3) アメリカ海洋大気庁 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration, (<http://www.elnino.noaa.gov/enso>))
- 4) NCEP/NCAR Reanalysis data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA. (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>)
- 5) 気象庁 ([http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/diag/db\\_hist\\_mon.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/diag/db_hist_mon.html))