

JR 津軽海峡線騒音の調査結果の近年の動向

—新型電気機関車 EH500 の騒音を中心として— (第2報)

花石 竜治 安田 徳彦 吉田 綾子 松尾 章

昨年度、JR 津軽海峡線の貨物列車を中心とした騒音問題に関して、従来の調査に付け加えて行った周波数測定結果までを報告したが、今回は、周波数解析装置を改良し、より簡単にこれを行うことを可能にし、さらに高速なデータ処理を行い、これにより雑音の少ないデータを得ることができたので報告する。周波数解析の結果、列車の上り下り以外にも、列車1本1本で騒音の周波数スペクトルに違いが見られ、今後、より多くのデータを集積し、騒音対策を練ることが必要との知見を得た。

Key words : JR Tsugarukaikyo line, noise, freight car, frequency analysis, electric locomotive

1. 緒 言

近年のJR 津軽海峡線の騒音問題の概要に関しては、第1報(1)で述べているので、ここでは記述を省略する。ただし、繰り返して着すべき点は、3電源(直流、交流50Hz、60Hz)方式の新型機関車EH500(通称「金太郎」)が大きな騒音を及ぼしていることが明らかになってきたという点である。

第1報に報告した研究では、ハードウェアとソフトウェアを工夫し、市販のアナログデジタル(AD)変換器でデータの採取を行った。今回、マイクロソフト社Windowsに標準装備されているサウンドレコーダーの機能を生かすことにより、ハードウェアが簡略化でき、ソフトのほうも、高速な処理や雑音の相殺などが可能になり、きれいなデータが得られた。本報告では、これらハード・ソフトについて述べ、得られたデータを紹介する。

2. 調査日時

調査は平成18年10月16日に、ここ数年継続して調査を行っている、外ヶ浜町蟹田の蟹田駅から青森よりの土場踏切近傍で、通常のルーチン測定である騒音・振動調査と、これに付加して周波数測定を行った。騒音波形採取は、ノート型パーソナルコンピュータ(PC)をバッテリー駆動で動作させて、PCの基本ソフト(OS)標準装備のサウンドレコーダー機能を用いて行った。PCのバッテリーの駆動時間を考え、貨物列車が集中する時間帯に3本の貨物列車のデータを採取した。

3. 調査方法

ルーチン測定については第1報と同様に行い、ここでは周波数解析が主題であるので、説明を省略する。

周波数測定の際の騒音の波形採取は、軌道中心から6mの地点で行った。9Vの乾電池から抵抗で分圧した電圧をコンデンサーマイクに印加し、その出力を増幅せずに直にPCのマイク入力に取り込んだ。PCのマイク入力はステレオであるが、用いたマイクロホンはモノラル出力であるので、ステレオの左右2入力にはモノラルの同じ信号を入れた。なお、PCのマイク入力はハイインピーダンスであり、マイクロホンの信号を歪なく取り込むことが可能である。PC付属のサウンドレコーダーのAD変換機能は、デジタル分解能が16ビットであり、マイクロホンの使用条件下では、 $2^{16}=65536$ により、波形に正負の電圧があることを考慮すると、 $10\log(65536/2)=$ 約45dBのダイナミックレンジを持つ。マイクロホンの利得調整はWindowsの機能で簡単に行うことができ、基本的な設定で、十分に精度よく測定できる。サンプリング周波数は22.205kHzであり、1回の測定につき、数MBのファイルが生成される。この膨大な出力データはWindowsのWaveファイル形式でバイナリであるが、これをMicrosoft社Visual Basicで作成したプログラムにより、解析に供した。

騒音波形の周波数解析には、連続する時系列データを窓関数法(Hamming window)によって時間分解し、その時刻周辺で $2^{10}=1024$ 点の高速コサイン変換(高速フーリエ変換の一種)により、列車通過時刻に対し

て周波数分布がわかるようにした。第1報でのハードおよびソフトのラインナップでは、Windowsの割り込みにより、データが一定の時間間隔のものではなかったが、今回の測定に用いたサウンドレコーダーではAD変換の時間間隔が一定であったので、高速フーリエ変換(2)を用いることができ、高速なデータ処理が可能である。Hamming windowやフーリエ変換に関しては第1報で述べているが、ここでも解説を試みる。

騒音波形はさまざまな周波数を持つ時間軸でのデータであるが、これを数学的に処理し、周波数を横軸にとり、縦軸にその周波数における強度を示したのが周波数スペクトルである。

時間軸データから周波数スペクトルデータを得る手法の一つがフーリエ変換であり、この方法では、任意の関数が三角関数の和で表されることを利用している。フーリエ変換の定義式では、まず時間軸信号の繰り返すユニットを考え、これを無限幅の積分に拡張する。実際のデータ処理では、データが離散的であり、また、データ数が有限であるため、離散フーリエ変換を行う。これに関して、電子計算機で計算する場合に有利な方法として考案されたのが高速フーリエ変換(FFT)である。

第1報と同様に、今回の研究でも、騒音波形を窓関数法(Hamming window)によって時間分解した。Hamming windowについて簡単に述べれば次のようになる。すなわち、ある時刻からまたある時刻までの有限幅の時系列データをそのままフーリエ変換すると、信号の周期がこれに一致しない場合は、シンクウィグルという人工的な偽の周波数ピークが出現してしまう。これは、フーリエ変換の定義がそもそも無限の積分幅であるのに、有限の幅で積分を行ったために現れるものである。数学的には、そもそも無限に連なる時間軸関数に、矩形の窓関数を乗じて積分を行ったためであり、矩形の窓関数にはさまざまな周波数成分が含まれる(矩形の窓関数が種々の周波数成分を持った三角関数で展開されることと等価である。)ことから明確に理解できる。そこで、こういった有限幅のデータ処理を、人工的な偽ピークの出現なく行うために考案されているのが、窓関数法である。今回用いたのは、Hamming windowというもので、

$$f(t) = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right\}$$

ここで、 t はコサイン変換開始からの時刻、 T は窓関数が0となる時刻で、コサイン変換終了の時刻である。窓関数は、時刻 $t=0$ および $t=T$ でゼロであり、 $t=T/2$ で極大の1となる。矩形の窓関数とは異なって、滑らかに時間軸で窓関数を乗じていることは簡単に理解できよう。この $f(t)$ なる関数を時系列データに時間軸で乗じて、その後高速コサイン変換を行うことにより、時系列データから通過時刻付近の周波数を求めた。

今回の計算では、サンプリング波形が実数で、複素フーリエ変換が実関数に対して適応されるので、周波数成分の実部が正負の周波数で対称となり、虚部は反対称となることから、複素フーリエ変換の結果として出力されるデータの実部の周波数正の部分を利用した。これはコサイン変換と同じことである。Hamming窓については、

$$T = 1 / (22.205 \text{kHz} \times 1000) \times 1024 \times 2 \approx 0.092 \text{ s}$$

とした。

第1報では、雑音の多いスペクトルであったが、一定時間間隔のデータサンプリングであるので、データを平均化して、雑音の影響を相殺することが可能である。後述するデータでは、約0.88秒間のデータを平滑化して示している。これにより、きれいなスペクトルが得られた。

4. 結果および考察

ここでは、周波数解析を行った結果について述べる。

- (1) 10:38下り貨物「金太郎」。ルーチン測定(A特性, Slow)でピークが79.0dB。

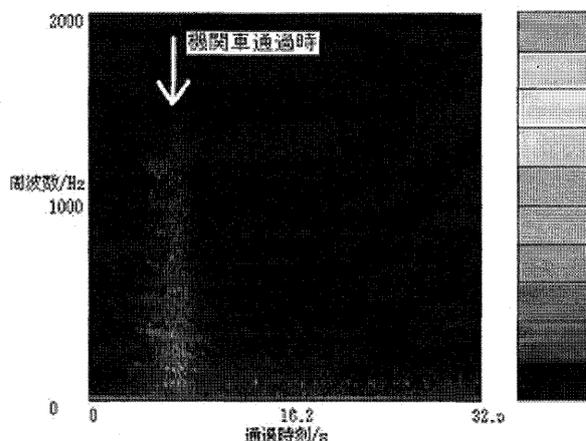


図1：通過時刻対騒音周波数の二次元プロット

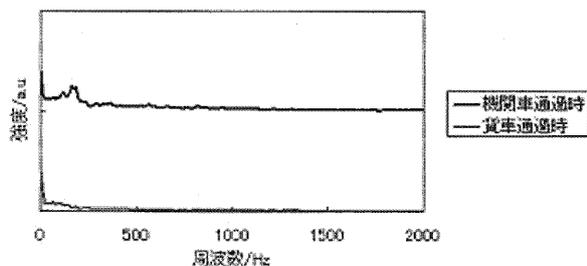


図2：機関車通過時および貨車通過時の図1のスライス

(2) 10:53下り貨物「金太郎」。ルーチン測定でピークが88.5dB

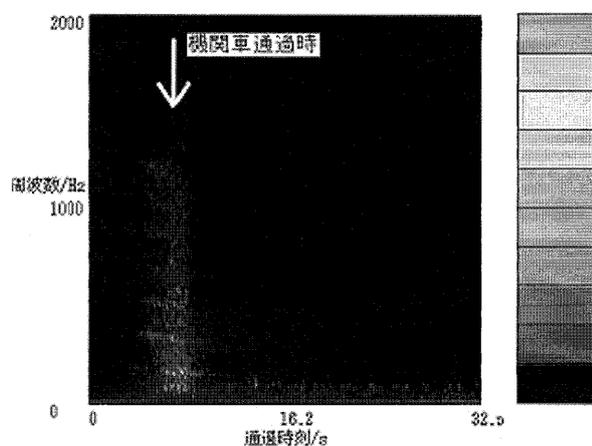


図3：通過時刻対騒音周波数の二次元プロット

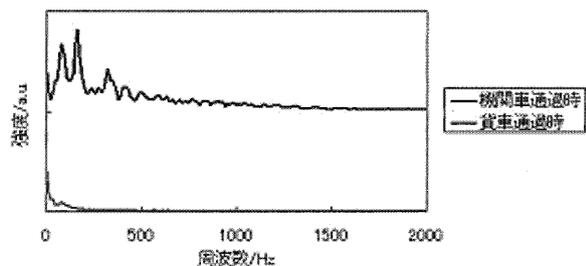


図4：機関車通過時および貨車通過時の図3のスライス

(3) 10:57上り貨物「金太郎」。ルーチン測定でピークが81.3dB

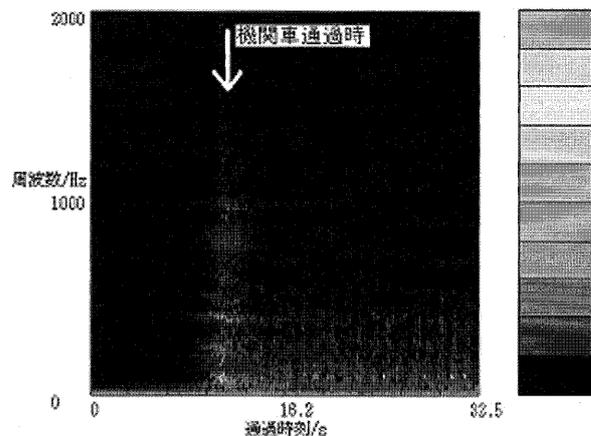


図5：通過時刻対騒音周波数の二次元プロット

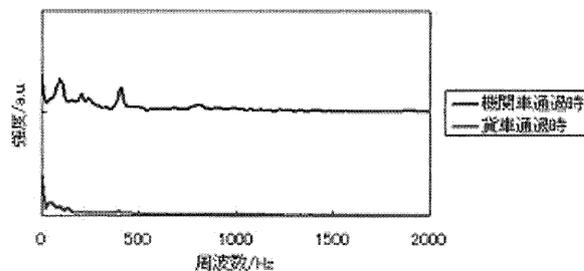


図6：機関車通過時および貨車通過時の図5のスライス

(4) 考察

図1, 2および図3, 4はどちらも下り貨物列車であるが、機関車通過時の騒音の周波数スペクトルはかなり異なっている。もちろん、ピーク時の騒音レベルが異なっているのも事実であるが、同じ形式の貨物機関車で、同一方向への走行であるのに、スペクトルが異なるというのは、新規な知見である。今後、採取する騒音データを増やし、列車一本一本を吟味しなければ、騒音対策を練ることが難しい。

ただし、前述の2本の列車と、図5, 6に示した上り列車とを比べると、EH-500「金太郎」機関車の騒音は、割合、低周波数領域に広く分布して強いことがわかる。これは、3本の列車のデータしか採取できなかった今回の研究の中でも明瞭な結果であって、騒音の発生源箇所追究に有益な情報と考えられる。

5. 結 論

第1報に続き、JR津軽海峡線の騒音調査で、新型機関車「金太郎」EH500の騒音の周波数解析を行い、結果を考察した。同じ進行方向の同じ機関車の騒音でも列車一本一本でスペクトルが異なることや、ただし、新型電気機関車EH-500「金太郎」の騒音は低周波数領域に強く、広いスペクトルで分布することが明らかになった。今後は、数多くの列車の騒音を採取し、列車の走行速度との相関などを精査し、JR津軽海峡線の騒音対策に資することが重要と考えられる。

文 献

- 1) 花石 竜治, 他: JR津軽海峡線騒音調査の近年の動向—新型電気機関車EH500の騒音を中心として—, 青森県環境保健センター研究報告, **16**, 25 - 30(2006)
- 2) 南 茂夫監修, 河田 聡編著: 科学計測のためのデータ処理入門, 2002年, CQ出版, pp39 - 69.