

JR津軽海峡線騒音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—

花石 竜治 安田 徳彦 松尾 章

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する。周波数測定は、コンデンサーマイクの出力をOPアンプにより増幅し、市販のアナログ-デジタル変換器を経てリアルタイムにパーソナルコンピュータに騒音波形を取り込み、これを数学的に処理することで行った。周波数解析の結果、駅に進入する下り貨物列車と、駅を出発する上り貨物列車とで騒音の周波数特性が異なることなどの知見を得た。

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

1. 緒 言

JR津軽海峡線（正しくは津軽線区間内であるが、走行する列車の大半が北海道方面関係であるので、便宜上、津軽海峡線と称する。）の鉄道騒音・振動問題は過去に防音・防振壁の設置などで沈静化の傾向が見られていた。

ところが近年、ダイヤの大幅な見直しにより、昼間に走行する貨物列車の割合が増えた。さらに昨年度までの調査結果などによれば、関東方面から北海道の五稜郭までを機関車の付け替えなしで走行でき、岩手銀河鉄道線内の奥中山の峠越えや青函トンネル内の急勾配を走破する、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。

通常の鉄道の騒音測定では、周波数A特性のSLOWという時定数設定により騒音を測定する。この方法では、さまざま存在すると考えられる騒音の周波数成分についての知見が得られない。騒音の周波数成分が判明すれば、機関車内外の騒音発生源に関する情報が得られる可能性がある。

本報告では、新型機関車EH500の騒音を実地において波形で採取し、これを数学的に処理し解析することによって、騒音の周波数成分に関する知見を得たので述べる。

2. 調査日時

調査は平成17年10月13日に、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。周波数測定は、後述するようにノートパーソ

ナルコンピュータ(PC)をバッテリー駆動で動作させてアナログ-デジタル(AD)変換を行いサンプリングしたので、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(10時半ごろから12時ごろまで)に調査を行った。

3. 調査方法

ルーチン測定は、積分型普通騒音計NL-06とレベルレコーダーLR-06、両者の特性は周波数A特性、時定数SLOWで騒音を、振動計VM-52とレベルレコーダーLR-04で振動を測定した。機器はリオン社のものであった。軌道中心から6mと21mの2箇所測定を行った。ただし、振動については6m地点と21m地点は同一線上で測定が行えなかった。

周波数測定は騒音の波形採取は、軌道中心から6mの地点で行った。コンデンサーマイクの出力を汎用OPアンプLF356Nで増幅し、入力電圧範囲が-5V~+5Vまでの12ビットのAD変換装置を経て、PCに付属の専用ソフトで取り込むことによって行った。コンデンサーマイク出力の増幅回路は参考文献(1)、(2)を参考に設計し自作した。AD変換装置は、Pico Technology社のADC-42を用いた。デジタル分解能が12ビットであるので、これは $2^{12}=4096$ により、波形に正負の電圧があることを考慮すると、約33dBのダイナミックレンジである。実際の騒音は、過去のデータを見ると、機関車通過時が85dB程度、貨車通過時が70dB程度であるので、増幅回路の利得を適切に設定すれば、機関車通過時と貨車通過時の両方を十分な精度で測定できることになる。また、サンプリング間隔は約150 μ s、最大記録時間は約25sであった。1回の測定につき、約250000点のサンプリングを行った。実測データが膨大であり、

表計算ソフトが用いられなかったので、Microsoft社Visual Basicのプログラミングにより、データ解析を行った。

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2000点の離散コサイン変換(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。なお、AD変換器が出力するデジタル値は一定の時間間隔のものではないので、高速フーリエ変換は用いることができない。Hamming windowとは、

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

ここで、 t 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。この $f(t)$ なる関数を時系列データに時間軸で乗じて、その後コサイン変換を行うことにより、時系列データからある時刻付近の周波数を求めるものである。これによって、シンクウイグルなどの、フーリエ変換による人工的な偽の周波数ピークがなくなる。詳細は例えば参考文献(3)に記載がある。

簡単に文献(3)にならってフーリエ変換について述べる。時系列データ $y(t)$ をフーリエ変換する定義式は、周波数を f としたときの角周波数 $\omega = 2\pi f$ について

$$Y(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} y(t) e^{-i\omega t} dt$$

で与えられる。ここで $-L/2 \sim L/2$ は信号の繰り返し1ユニットを表し、

$$e^{-i\omega t} = \cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$$

である。もし信号が

$$y(t) = \cos(\omega_0 t)$$

ならば

$$Y(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} \cos(\omega_0 t) \{ \cos(\omega t) - i \sin(\omega t) \} dt$$

となり、虚数の項は偶関数 $\cos(\omega_0 t)$ と奇関数 $\sin(\omega t)$ との積なのでその $-L/2 \sim L/2$ の和はゼロとなる。一方、実数の項は、 ω_0 と ω が異なれば積分をすると0になり、 $\omega = \omega_0$ のときのみ値を持つことになる。すな

わち、

$$Y(\omega) = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} \cos^2(\omega_0 t) dt = 1 \quad \omega = \omega_0 \text{ のとき}$$

$$Y(\omega) = 0 \quad \omega \neq \omega_0 \text{ のとき}$$

となり、単一周波数信号であることが解析される。もし $y(t)$ がたくさんの周波数を含んでいるとすれば、そのフーリエ変換はそれらの周波数に値を持つものとなる。今までの議論は連続関数に関するものであったが、これを離散データについて定義を拡張し、計算を行ったものが、今回の周波数解析である。

今回の計算では、サンプリング波形が虚部を含まず、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、コサイン変換を行うこととした。時刻 $t = t_k$ からの離散波形データ $y(t_{k+i})$ に Hamming 窓関数 $f(t)$ を乗じた後の離散コサイン変換を

$$Y_k(\omega) \propto \sum_{i=1}^{2000} y(t_{k+i}) f(t_{k+i}) \cos(\omega t_{k+i})$$

ここで、

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

t_l : 変換開始時刻

$T=0.26$ s

とした。サンプリング間隔が約 $150 \mu\text{s}$ で、2000点ごとの変換であるから、Hamming窓の完了時刻は幾分早い。しかし、時系列中100点で時間分解したので、得られた結果は十分に時系列データの周波数・時間特性を反映したものと考えられる。

4. JR津軽海峡線の騒音問題の昨今の現況

これについて、平成12年度からの推移を表1に示した。なお、後述する平成17年度の結果も載せてある。環境基準はないが、新幹線騒音と同様の評価をするために、連続する20本の列車の上位半数パワー平均で評価している。

表1 JR津軽海峡線騒音の経年変化（外ヶ浜町蟹田）

測定距離	年度	12	13	14	15	16	17
6 m	上位半数	76	74	/	80	83	83
21m	パワー平均 (dB)	71	71	/	78	82	82

平成15年度以降、騒音が増加していることが明らかである。これは、緒言で述べたことが原因と考えられる。

5. 平成17年度の結果

5.1 ルーチン測定の結果

表2にルーチン測定の結果を示す。下りの貨物機関車、わけてもEH500「金太郎」の騒音が大きいことが明らかである。

図1に10：54下り貨物と11：56上り貨物列車の騒音のチャートを示した。ピークが機関車通過時のものである。

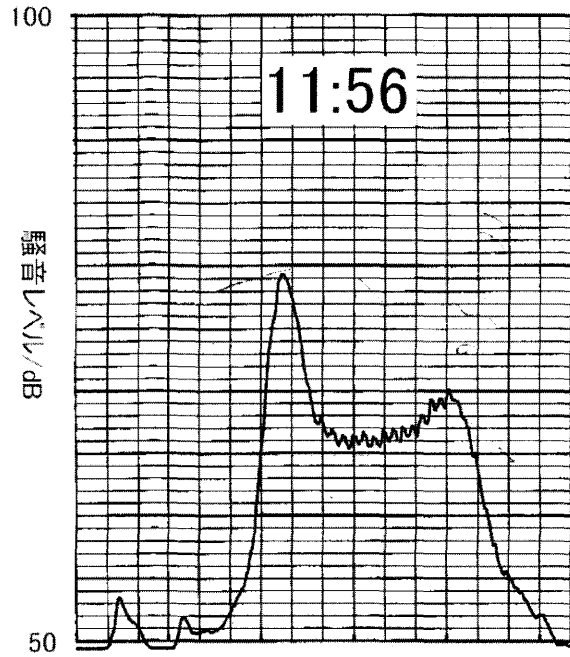


図1(b) 11：56上り貨物列車（EH500「金太郎」）
軌道中心から6mの地点の騒音チャート

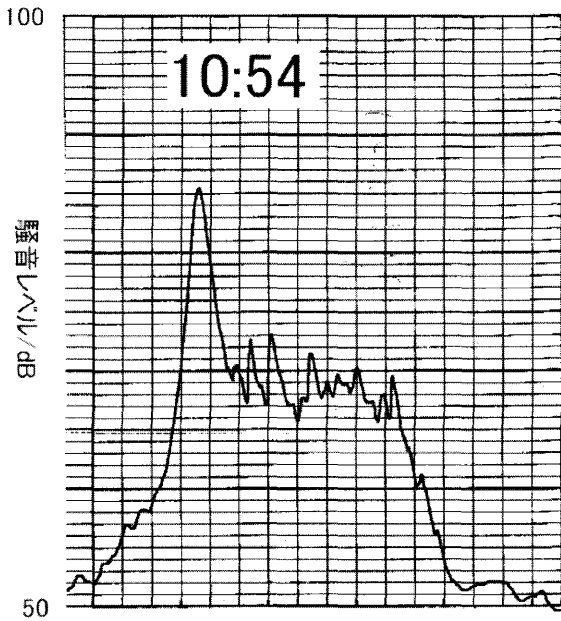


図1(a) 10：54下り貨物列車（EH500「金太郎」）
軌道中心から6mの地点の騒音チャート

表2 ルーチン測定の結果

測定 番号	列車通 過時刻	上下 の別	列車種別		全車両数 (台)	貨物の場合、機関車が EH500(金太郎)か旧式か	車両通過時間 (sec)	列車速度 (km/h)	騒音 (dB)		振動 (dB)		
			列車	機関車					6 m	21m	6 m	21m	
1	10:23	下	特急	電車	8		14.65	39.3	70.5	67.0	58.5	52.0	
2	10:26	上	特急	電車	5		9.40	38.3	70.5	67.8	62.5	59.4	
3	10:38	下	貨物	電気機関車	2	22	金太郎	33.71	49.7	84.9	84.5	65.9	59.5
4	10:54	下	貨物	電気機関車	2	22	金太郎	38.83	43.1	85.6	85.4	64.1	57.1
5	10:58	上	貨物	電気機関車	2	22	旧式	27.00	62.0	76.7	73.4	65.2	59.0
6	11:20	上	貨物	電気機関車	2	22	金太郎	26.06	64.3	85.0	84.4	66.0	60.0
7	11:36	下	普通	電車	3		5.24	43.9	66.6	64.0	55.0	50.9	
8	11:42	下	特急	電車	5		9.11	39.5	67.9	65.3	56.5	51.0	
9	11:45	上	普通	電車	3		5.14	44.8	66.9	64.4	55.1	51.1	
10	11:56	上	貨物	電気機関車	2	20	金太郎	31.66	48.3	79.4	78.3	62.2	57.1
11	12:12	下	貨物	電気機関車	2	22	金太郎	41.02	40.8	85.8	85.5	62.6	57.5
12	12:17	上	特急	電車	8		10.78	53.4	71.8	68.8	60.8	52.7	
13	12:41	下	特急	電車	6		8.46	51.1	72.4	69.6	59.1	51.0	
14	12:57	下	貨物	電気機関車	2	22	旧式	49.74	33.7	72.6	70.8	64.4	54.9
15	13:04	下	貨物	電気機関車	2	22	旧式	50.34	33.3	72.2	70.6	62.1	55.1
16	13:07	上	特急	電車	8		12.62	45.6	72.1	68.9	60.5	53.9	
17	13:28	上	貨物	電気機関車	2	20	金太郎	24.76	61.7	86.0	85.6	66.6	61.0
18	13:41	下	普通	電車	3		5.80	39.7	68.3	66.8	55.6	51.0	
19	13:45	下	特急	電車	5		7.45	48.3	71.0	68.8	59.6	56.6	
20	13:47	上	普通	電車	3		6.22	37.0	66.9	64.4	56.0	51.0	
								最大	86.0	85.6	66.6	61.0	
								最小	66.6	64.0	55.0	50.9	
								上位半数の算術平均	80.0	78.8	64.1	58.6	
								上位半数のパワー平均	82.9	82.4	64.4	58.4	

5. 2 騒音の周波数解析

5. 2. 1 10:54下り貨物列車 (EH500「金太郎」), 軌道中心から6mの地点

ルーチン測定でのピークレベルは85.6dBであった。図2～図4に周波数解析に供したデータおよびその結果を示した。図2でピーク時が機関車通過時のものである。図3で、機関車「金太郎」の強い騒音が低周波領域(約200Hz)付近にあることがわかる。図4では、機関車に広範な騒音周波数があることがわかる。

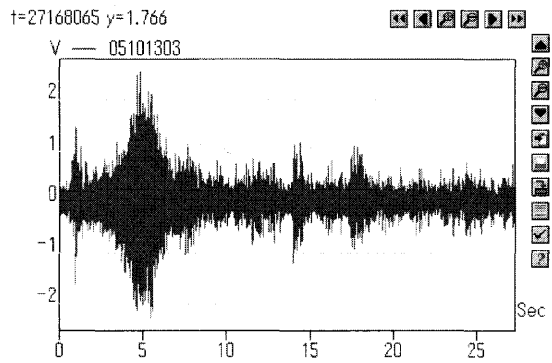


図2 騒音波形

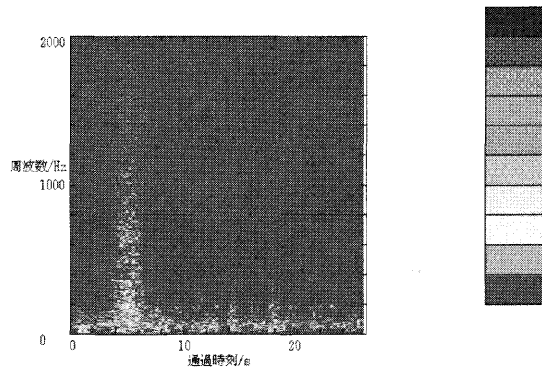
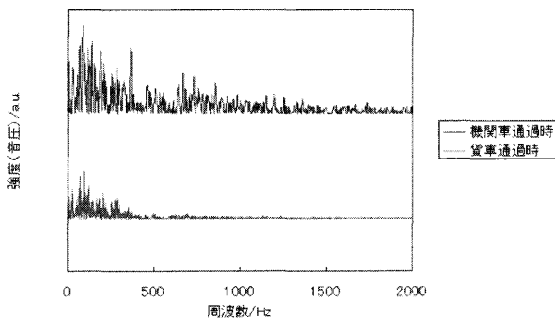


図3 通過時刻対騒音周波数の濃淡表示



EH500(金太郎)の騒音のスペクトル(平成17年10月13日10:54下り)

図4 図3の通過時刻でのスライス

5. 2. 2 11:56上り貨物列車 (EH500「金太郎」), 軌道中心から6mの地点

ルーチン測定でのピークレベルは79.4dBであった。図5～図7に周波数解析に供したデータおよびその結果を示した。図5でピーク時が機関車通過時のものである。図6で、機関車「金太郎」の強い騒音が低周波領域の240Hz付近にピークがあることがわかる。図7では、このことがはっきりと現れている。

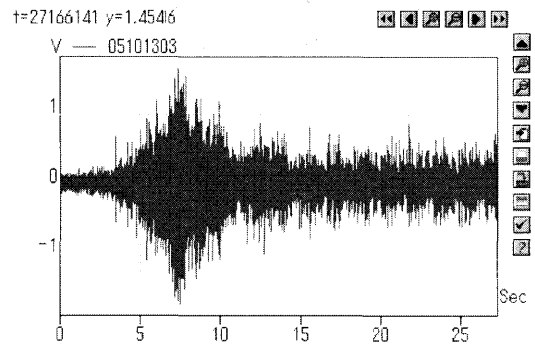


図5 騒音波形

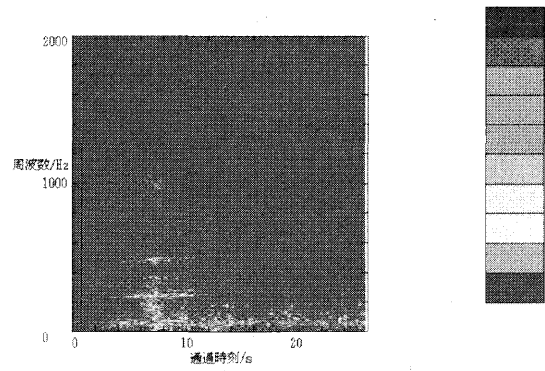
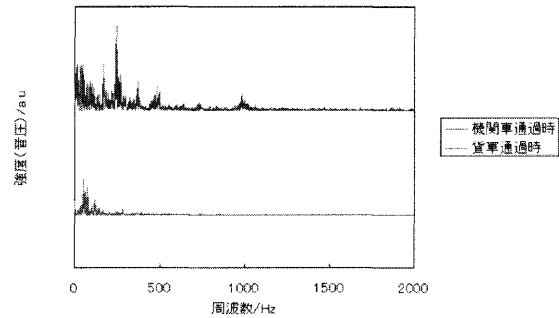


図6 通過時刻対騒音周波数の濃淡表示



EH500(金太郎)の騒音のスペクトル(平成17年10月13日10:54下り)

図7 図6の通過時刻でのスライス

6. 考 察

機関車通過時に騒音波形としても大きな信号が観測された。これを周波数解析し、通過時刻対騒音周波数の濃淡表示にすると状況がよくわかった。機関車および貨車通過時の周波数スペクトルを見ると、まず下り列車のほうでは広範な領域に騒音ピークが観測された。このことは、蟹田駅に侵入する際の減速で、騒音発生源が複数あるか、あるいは広範な範囲の周波数成分を持った発生源箇所が影響しているからと推定された。上り列車のほうでは、240Hz付近に明瞭なピークが見られた。このピークはほかのピークの約2倍の音圧を持っており、 $10\log_{10} 2 = 3$ であるから、約3dB分の騒音に寄与していると考えられる。上り列車は蟹田駅を出発してから加速中であり、この最中には240Hzの周波数成分を持つ騒音発生源がとりわけ大きく寄与していると結論される。

このように周波数解析は、騒音の発生源解明に役立つ

つと考えられ、この手法を利用して、騒音抑制の対策も練ることができるであろう。

7. 結 論

JR津軽海峡線の騒音・振動調査で、ルーチン測定に加えて、新型機関車「金太郎」EH500の騒音の周波数解析を行い、騒音発生箇所の探究に有益な情報が得られた。今後も、この調査を継続し、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。

8. 参 考 文 献

- 1) トランジスタ技術編集部編：「実用電子回路設計ノート」, 1989年, CQ出版, pp28-29.
- 2) トランジスタ技術編集部編：「パソコン・アダプタの製作&応用」1999年, CQ出版, pp42-57.
- 3) 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.

Abstract

Recent Trends in Results of the Train Noise of the JR Tsugarukaikyo Line : a New Type of Electric Locomotive EH500

Ryuji Hanaishi, Tokuhiko Yasuda, and Akira Matsuo

With regard to problems of freight car noise of the JR tsugarukaikyo line, usual investigations to additional frequency analyses are reported. The frequency analyses were carried out by mathematical calculations after amplifying an output of a condenser microphone using an operation amplifier, successive analog-digital conversions and uptake the noise wave into a personal computer. The results of the frequency analyses revealed that frequency components of the noise on the freight cars approaching to the station were different from those departing the station, and so on.

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