

堆積廃棄物の内部温度計測に関する研究

Research on internal temperature measurement of pile waste

○鳥居哲也*, 伊藤孝徳*, 千葉茂樹*, 長田 洋*

○Tetsuya Torii*, Takanori Ito*, Shigeki Chiba**, Hiroshi Osada*

*岩手大学

*Iwate University

キーワード：堆積廃棄物 (pile waste) , 発熱 (fever) , アトラクター (attractor) ,
カオス解析 (chaos analysis)

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学大学院 工学研究科
電気電子・情報システム工学専攻 長田研究室
鳥居哲也, Tel : 019-621-6381, Email : t2312027@iwate-u.ac.jp

1. 序論

2011年3月の東日本大震災での津波の発生により、沿岸地域では甚大な被害が発生した。現在は津波被害による大量の廃棄物が堆積している。その堆積廃棄物は様々な物質が混入されているため放置していると化学反応で発熱する特徴があり、稀に火災が発生するまでに至る^{[1],[2]}。

本研究では、堆積廃棄物の内部温度上昇による火災の発生を未然に防ぐため、効率よく熱を計測するための方法を検討した。

2. 堆積廃棄物の発熱

堆積廃棄物は木材・土砂・コンクリート・

金属といった様々な物質が混ざり合った状態で置かれている(図1)。そのため、低温酸化・微生物発酵・水分吸着・金属の化学反応といった要因により、悪臭・有害物質の発生、発熱等の現象が発生する^{[3]-[6]}。今回は発熱という点に注目している。

この発熱は化学反応が原因のためにそれほど高温にならなくても発火するおそれがある。また、発火した場合、通常の発火と異なるために放水を行っても簡単には消化できず2週間程度くすぶることもある。消化も手の施しようがなくなるため非常にやっかいである。このような事態にならないためにも事前の計測と予測が必要である。



(a) 積まれた堆積廃棄物



(b) 内部温度上昇による煙

図1 堆積廃棄物付近の様子

3. 計測

計測は実際に堆積廃棄物がある場所で行うことができないため、岩手県の沿岸にある山田町で行った。計測は期間をあけて行い、サーモカメラと熱電対にて行った。

3.1. サーマカメラによる計測

サーモカメラ TVS-610 を用い、表層および表層から 1 m 程度の深さの温度を計測した。

表層の計測結果を図 2 に示す。仮置場表層では 22°C~35°C (外気温+数°C~15°C) 程度の温度分布となっており、25°C以下の面積が約 75%、30°C以上の面積が約 1%であった。

低温表層 (22°C部分) 下部約 0.7 m の温度分布 (約 0.6 m×0.5 m) を図 3 に示す。同位置では、25°C~50°C程度の温度分布となっている。同図より、40°C以上の面積が約 13%、50°C程度の面積が約 1%であった。

図 4 は、高温表層 (35°C部分) 下部約 1 m (約 0.9 m×0.7 m) における温度分布を示す。同位置では 40°C~60°C程度の温度分布であ

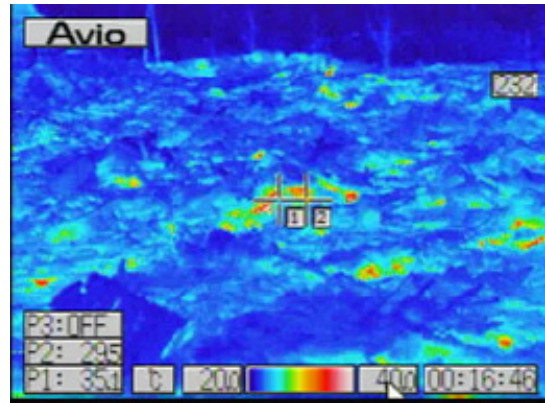


図2 仮置き場表層のサーモグラフ

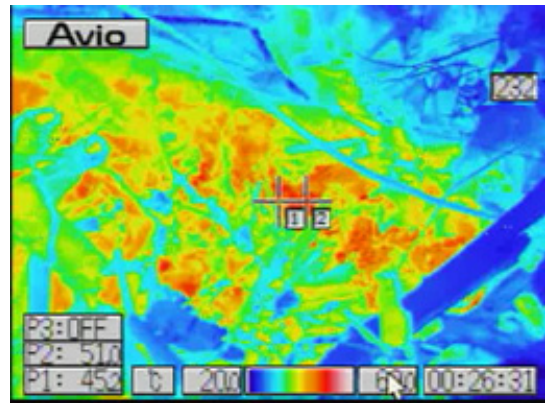


図3 低温表層下のサーモグラフ

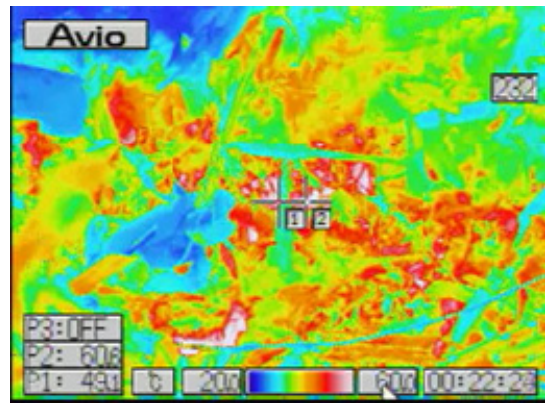


図4 高温表層下のサーモグラフ

った。同図より、40°C以上の面積が約 36%、50°C以上の面積が約 8%、60°C程度の面積が約 3%とわかった。

表層温度が低い (22°C程度) 部分の 0.7 m 下では最高温度 51°Cに達し、表層温度が高い (35°C程度) 部分の 1 m 下では最高温度 60°Cに達していた。自然発火に関する論文^{[1],[3]}によると 75~80°Cであれば危険信号とのことであり、今回の結果はそれを下回るが調査点が2点と非常に少ないことから決して安心できる値ではないと思われる。

今回の結果より、表層 1 m 下部の温度は少なくとも 10°C程度の温度差があることがわかった。このことは、ゴミ仮置場における温度監視が難しいことを意味している。今回利用したサーモカメラを利用できるのであれば表層発熱部分を調査すればよいが、一般の温度計では発熱箇所を特定して測定することが困難であるからである。一般の温度計で計測する場合は常に計測データが全体の最低値であるという仮定のもとで行われる必要がある。しかし、サーモカメラは高価であり、広い測定範囲を長時間監視するには多大なコストを要するため、他の方法も検討することにした。

3.2. 熱電対による計測

T型熱電対を設置して堆積物の3次元温度分布計測を行った。計測は図5のように大気、および10 m程度離れた2地点S, Nに熱電対をおき、表層および表層から1 m および2 m 程度の深さで行った。

図6, 図7に各場所の温度変化を示す。図6は2012年8月9日, 図7は2013年4月17日に計測したものである。どちらも約8時間程計測している。図6のN点に関してみると、表層付近は約20°C, 深さ1 mでは約27°Cをほぼ保っている。深さ2 mでは35°Cから上昇し、40°Cをこえて一定となっている。また、S点に関してみると表層付近ですでに約27°Cもあり、だんだん上がっていき最終的に約36°Cとなる。深さ1 mと2 mではすでに50°C近くもあり、どんどん上昇して約57°Cとかなり高い温度である。これより場所によって温度が異なり、高い場所と低い場所では40°Cも

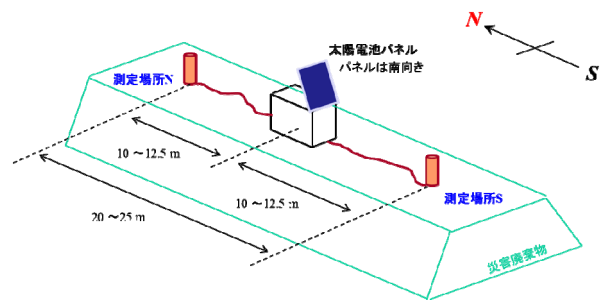


図5 T型熱電対を用いた計測の位置

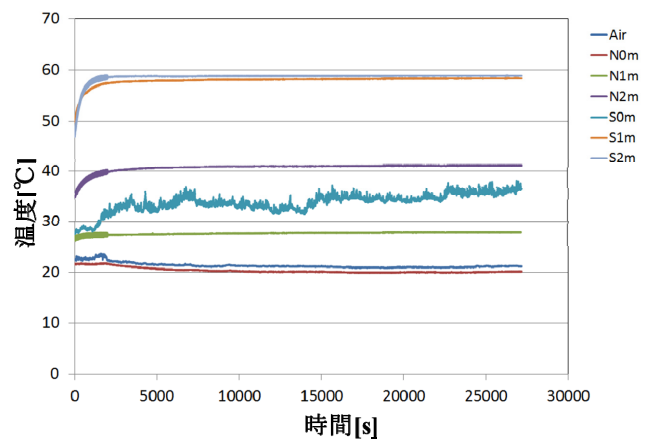


図6 2012年8月9日の堆積廃棄物内の温度変化

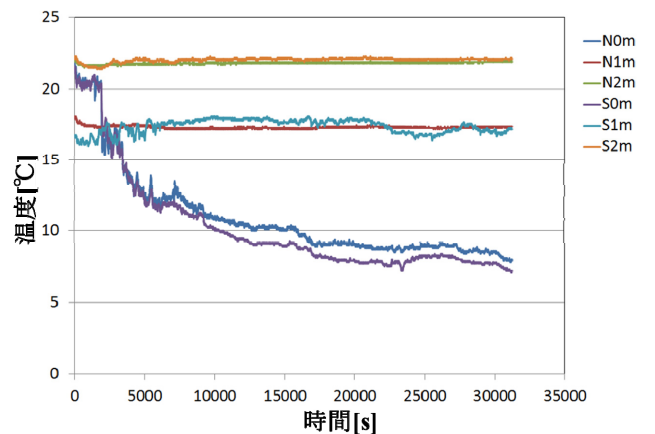


図7 2013年4月17日の堆積廃棄物内の温度変化

違うことがわかった。この値も安心できる値ではないと思われる。

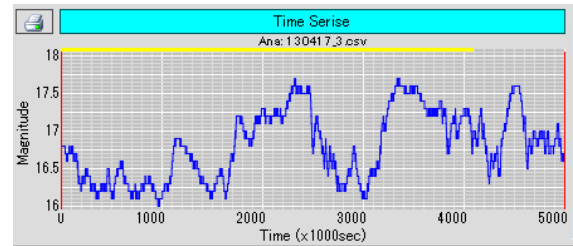
次に、図7についてみてみると、堆積してからかなり月日が経過したこともあってか7°Cから23°Cの間の温度変化となっており、状態が落ち着いてきたことがうかがえる。し

かし、落ち着いてきたとはいえ、温度が場所によって 15°C 近くも変化していることがわかる。

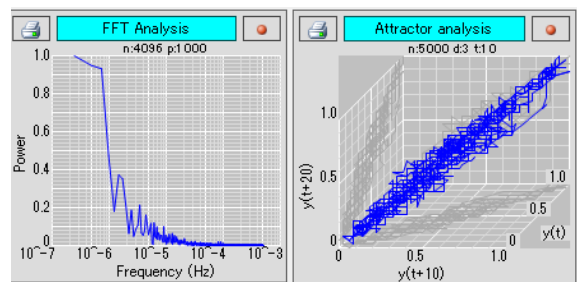
また、図 5 の計測地点 S, N 付近でランダムに A~E の地点を選び、表層付近の熱伝導率と温度を複数回計測したところ、表 1 に示す結果が得られた。同じ地点付近でも温度だけでなく熱伝導率も大きく異なることがわかった。

表 1 計測地点表層の熱伝導率と温度

| 計測地点 | 熱伝導率 [W/(mK)] | 温度 [°C] |
|------|---------------|---------|
| A | 0.741 | 20.9 |
| A | 0.387 | 22.0 |
| A | 0.726 | 22.3 |
| B | 0.135 | 21.4 |
| B | 0.181 | 23.5 |
| B | 0.233 | 21.9 |
| C | 0.223 | 20.7 |
| C | 0.054 | 21.9 |
| C | 0.207 | 23.2 |
| D | 0.108 | 22.7 |
| D | 0.077 | 21.9 |
| D | 0.221 | 22.6 |
| E | 0.253 | 20.6 |
| E | 0.412 | 21.3 |
| E | 0.123 | 18.7 |

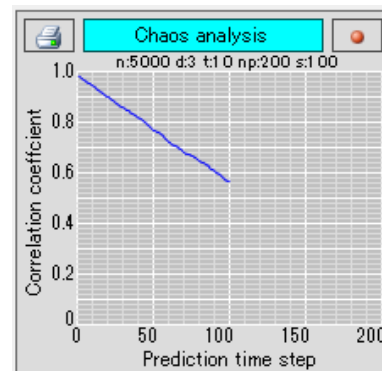


(a) 温度変化



(b) FFT 解析

(c) アトラクター解析



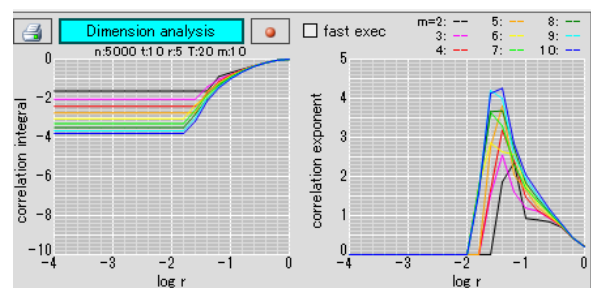
(d) カオス解析

4. 計測データの解析

計測した温度の時系列データから、温度変化の予測が可能であるかどうかを検討するため、計測データに対して FFT 解析、アトラクター解析、カオス解析、相関次元解析を行った。今回使用したデータは図 7 の S1m, S2m の 0 s ~ 5000 s の範囲のデータである。

4.1. S1m の解析結果

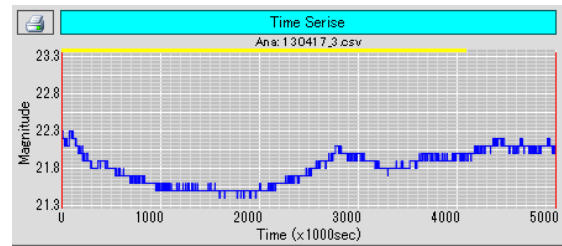
図 8 に図 7 の S1m での計測に関する解析結果を示す。(a) は温度変化である。(b) の



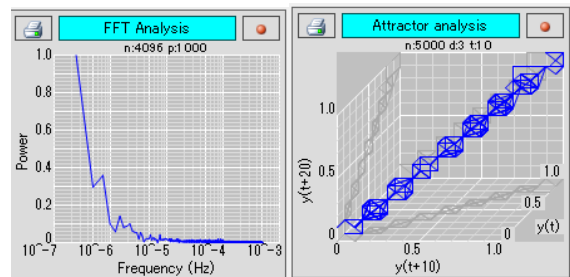
(e) 相関次元解析

図 8 CH5 の計測データの解析結果

FFT 解析よりグラフがなだらかな形をとっており、特定の周波数成分が含まれないことがわかる。次に (c) のアトラクター解析を見てみると、アトラクターの動きはほぼ一定の向きを保っていることがわかる。(d) のカオス解析を見てみると、予測ステップの増加に伴って相関係数が減少しており、温度データが非線形性を有していることがわかる。したがって、単純な温度予測は困難であるが、決定論的非線形予測手法を用いればある程度の予測ができることが期待できる。(e) の相関次元解析をみると、高次元であり、ダイナミクスが複雑であることがわかる。ただし、相関次元数の増加による、はっきりとした相関指数の飽和が観測されなかったため、系のダイナミクスの推定までは行うことができなかった。



(a) 温度変化

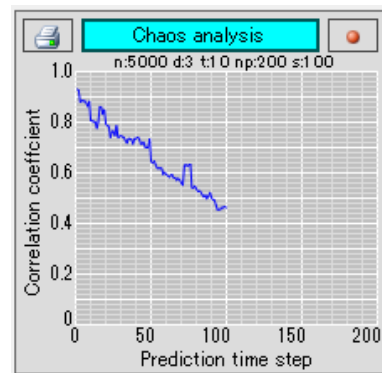


(b) FFT 解析

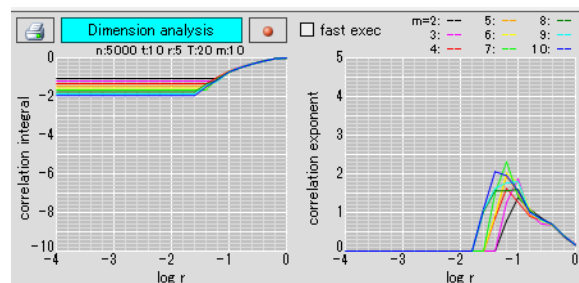
(c) アトラクター解析

4.2. S2m の解析結果

図9に図7のS2mでの計測に関する解析結果を示す。(a)は温度変化である。(b)のFFT解析は、4.1と同様特定の周波数成分が含まれないことがわかる。しかし、(c)のアトラクター解析を見てみると、アトラクターの動きは様々な方向に拡散してから収束するというを繰り返しており、4.1と比べると異なる形をとっている。(d)のカオス解析を見てみると、多くのノイズ特性のようなものが見られるが、これは温度の変化が4.1と比べて非常にゆっくりとしたものであったためとみられる。(e)の相関次元解析をみると、S1mよりは次元が低い、S1mと同様に相関係数が飽和しないことからダイナミクスの推定は困難であることがわかる。



(d) カオス解析



(e) 相関次元解析

5. まとめ

堆積廃棄物の内部温度を計測した結果についての考察を示す。

まず堆積廃棄物では、表層および深さ方向により温度が大きく異なることがわかった。表層が高温の場所の下部では、20°C程度の外気温に対して40°C以上高い60°Cを超える場

図9 CH6の計測データの解析結果

合もあった。このようになる要因としては、深い部分では空気などに触れないため大気付近と比べて熱が放出されにくいことがあげられる。

熱を計測する手法としていくつかの手法を検討したが、ある地点の温度を計測してその温度変化を予測できる可能性を示すことが出来た。しかし、系のダイナミクスを推定できないことから、まだ明確な温度変化の予測を立てることが困難であるため、解析条件の最適化などを行っていく必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 大迫政浩：東日本大震災のがれき処理の現状と展望，（2011）
- [2] 須川修身：研究者から見た火災調査
- [3] 角田芳忠：廃棄物貯留時の水分吸収による自然発火に関する研究，（2008）
- [4] 木田健次：メタン発酵プロセスに関与する微生物群集，（2009）
- [5] 清水芳忠：廃棄物の発火危険性と危険性予測（1），（2010）
- [6] 清水芳忠：廃棄物の発火危険性と危険性予測（2），（2010）