

崩壊時刻推定のための信号処理

株式会社 数理設計研究所 玉置晴朗

1. 適用目標

2003年11月、森林総合研究所による「斜面崩壊の公開実験」(加波山)に参加してレーザ距離計による毎秒データを取得した。長距離のレーザ距離測定は多くの誤差要因を持つ。装置性能がすばらしくても、現場で楽に運用できなければ警報機にはならない。運用技術もひとつであるが、雑音の多い観測から崩壊推定時刻を導く信号処理法の困難を明確にするため数値実験をした。

ここで問題とするアルゴリズムは救助員のためのものである。例を挙げれば新潟中越地震の妙見崩壊地で埋もれていた子供を救助する場面である。観測するには400m離れた信濃川対岸に観測機を置き、崩壊地上部に反射板などのターゲットを設置できない。この条件で救助員が退避するために十分な余裕時間を持って警報を与えるのが目標となる。

2. アルゴリズムの基本式

1985年ごろの研究に移動速度の逆数が一次関数に近似できるという成果がある。この一次関数が零を示す時刻を崩壊推定時刻とするものを基本関数として採用した。(参考文献を参照)

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{A} (t_r - t)^n$$

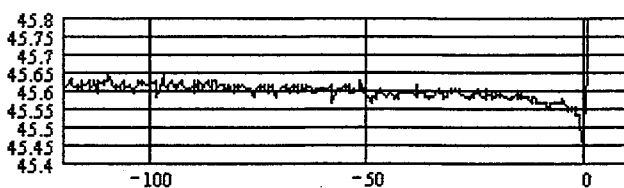
V: 移動速度, 1/V: 速度の逆数, t: 時間, t_r: 崩壊時刻, A, nは定数

3. 数値計算

n=1として積分変形、距離と時間の関数式として最小二乗法によりフィット、現在時間と過去情報の値から崩壊時刻を推定して誤差を評価した。計算は3変数の非線形関数となり

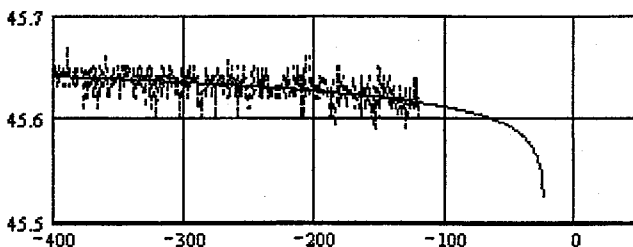
$$L(t) := A \cdot \ln(t_0 - t) + C$$

実施してみると初期値敏感性が高く非常に不安定であった。手順として大局的な傾向を調査するため、過去の長時間(900秒)情報からA, t₀, Cを最初に求め、その結果を初期値として再投入して600秒と300秒の過去情報による数値計算をした。しかし、それでも計算毎に結果が異なり、収束しないことが多いのは3次元空間において極値が散在しているのであろう。

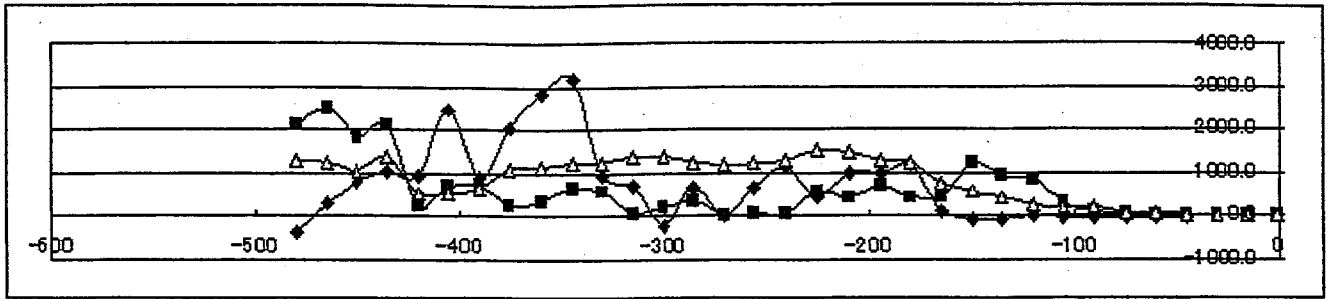


←120秒前からの距離変化である。距離45.60mから始まり、誤差雑音は5cmの振れ幅がある。これに積分形式関数をFITさせると収束する時は

←のようになる。



このグラフは120秒前時点に過去300秒の観測値を使って未来予測をしたものだ。結果は実崩壊の23秒前になる。ご都合主義的にうまくいった例である。残念ながら、常にこのような結果が得られるわけではない。

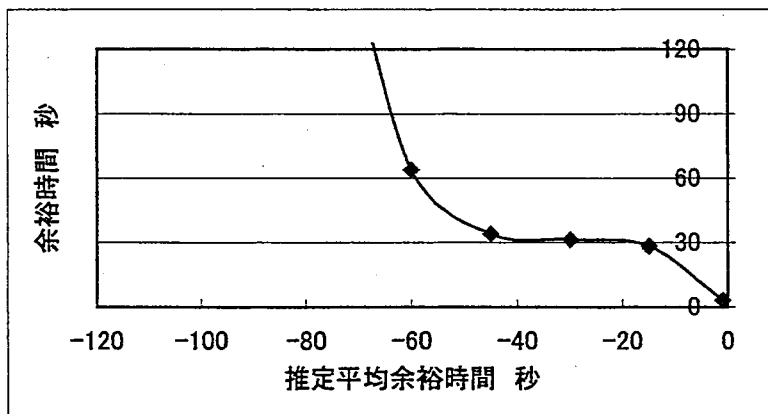
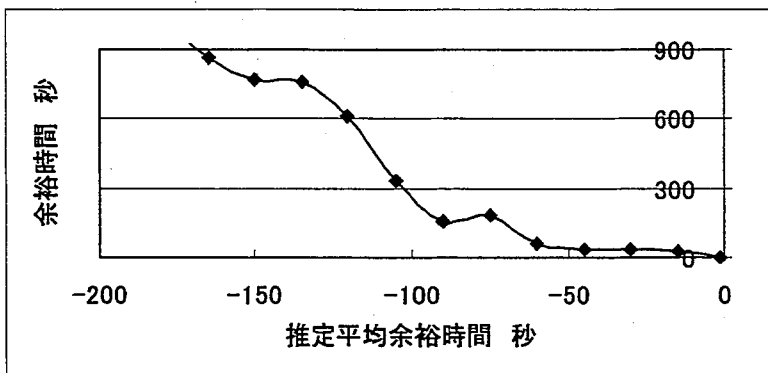


【300, 600, 900 秒の過去情報を使った未来予測の誤差計算例】 △300 秒, ■600 秒, △900 秒
(グラフの上側は未来への誤差, 下側は予測が手前になる誤差を表現している)

過去情報が長ければよいと言うものでもなく, 60 秒前には 300 から 900 秒間の過去データ, 120 秒前には 120, 300, 900 秒間の過去データを利用すれば推定精度がよいことはわかった. 最終段階にいたっても過去情報の長さによってばらつきが見られるのは過去情報を作る物理現象がひとつの様態ではなく, 複数の原理によって支配されていることを示していると考えている.

4. 誤差の傾向

参考文献にあるように, 指数部 n を 1 近傍で変化させてみようとした. しかし, 2004 年 3 月末時点では不安定で計算不能であった. そこで, $n=1$ として計算した誤差評価の変化を追跡することにした. また, 関数 FIT の精度を 6 桁に上げて再評価. スタートする初期変数は人為+低域フィルタ



によってもっともらしい値に再設定したので, 自動計算したわけではない.

崩壊の力学は数種の複合要素に支配されるらしいので, 判定時刻毎に過去情報の長さを 3 種 (300, 600, 900 秒) の 3 つとして誤差を再評価し, 判定時刻からみた未来予測 3 つについて平均した.

退避余裕が 10 分 (600 秒) になる時刻を目安とするならば, 実崩壊の前 135 秒に警報することとなる. さらに, 時間経過とともにどんどん切迫し, 崩壊の 60 秒前には残り 64 秒の警報ができる.

10 分の余裕推定で警報動作させても実崩壊の 2 分前から状況はどんどん前倒しになる.

5. 結論

この実験規模の崩壊現象では 2 分前の警報が精一杯であり, もし救難作業をするならば 2 分退避ができる範囲で, かつ警報は推定余裕時間を 10 分とすれば可能だろう.

参考文献 1 : 「斜面災害の予知と防災」 国立防災科学技術センター

参考文献 2 : 実験データ <http://www.madlabo.com/mad/research/Landslide/> に公開