

## 再可視化実験を振り返って

馬田, 俊雄  
九州大学応用力学研究所技術室

<https://hdl.handle.net/2324/1958433>

---

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 7, pp.19-24, 2006-03. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

## 再可視化実験を振り返って

九州大学応用力学研究所技術室 馬田俊雄

### 1. 最初に

スポーツにおける様々な現象は、瞬発的な力が用具等に働く為、解明されていない事が未だに多く存在する。それらはスポーツ工学という分類で盛んに研究がなされている。基礎力学部門破壊力学分野で行っているゴルフの衝突問題は、ゴルフに限らずスポーツ工学の発展に貢献できる。

近畿大学江藤教授開発の高速ビデオカメラを拝借(3度目)し、ゴルフボール斜め衝突の可視化撮影を行った(2005.5/23~6/9)。都合76撮影の映像記録(ゴルフ関係)をした。

この実験を振り返り、過去の疑問点や課題解明の為に効率的にデータ化する方針を決定するまでをレポートとして記録に残す。

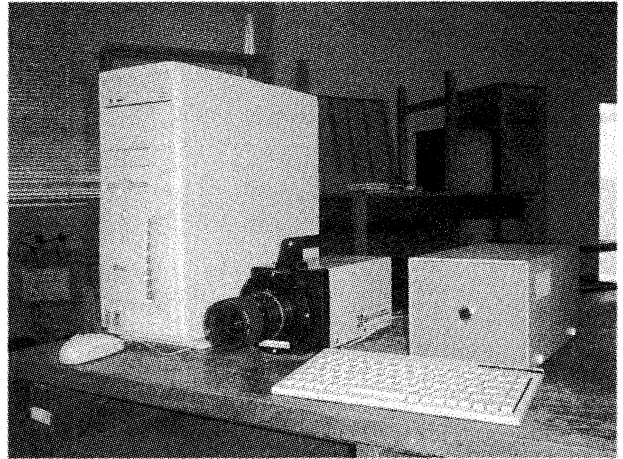


図1 カメラ外観図

### 2. 借用までの準備

3度目ともなると実験に関する目新しい手法は殆ど無かったので、事前準備としては予定表作成と上面から可視化する方法、ボールへのマーキングが主であった。マーキングはボール表面点の軌跡を計測する為に全てのディンプルにマジックで点を打つというものである。この作業は大変だった。

### 3. 本実験その1(垂直衝突)

5月23日(月)にカメラが届いた。カメラ他の外観を図1に示す。早速ガス銃の近くにカメラをセットした。これを図2に示す。メタルハロゲン照明を3方向(3台)で試したが、2台との違いは少なく、図2の様に決定した。次に図3に示す様にロードセルの背景に白い紙を置いてみた。これが以外や、ボールの輪郭を明確にする効果があるのが分かった。

特筆すべき事柄である。通常だと、ボールは白く光っているのでバックが白では、境界は隠れるように思う。ところが、ボールの境界は輝度が低下しているので、境界の外が再度明るくなると、その差が明確になるわけである。

ピントや対象とする撮影のエリアを図4の大きさに決定した。図4はパソコンモニターの画面である。ビデオ操作専用ソフトが起動しており、高速現象を撮影した時のものである。

到着後2日間の準備期間を経て、本撮影となっ

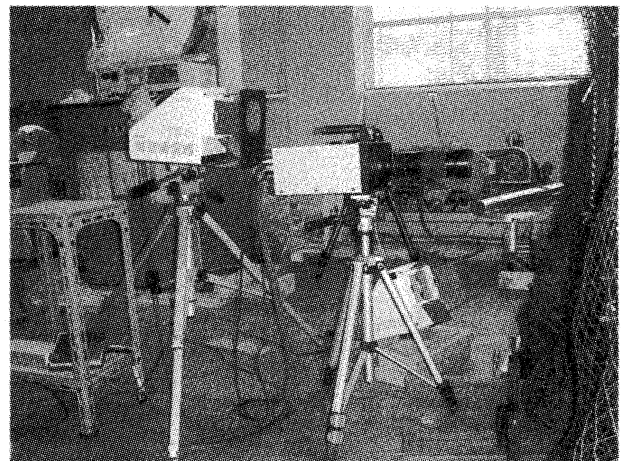


図2 カメラと照明の配置



図3 ロードセルとバックの白い紙

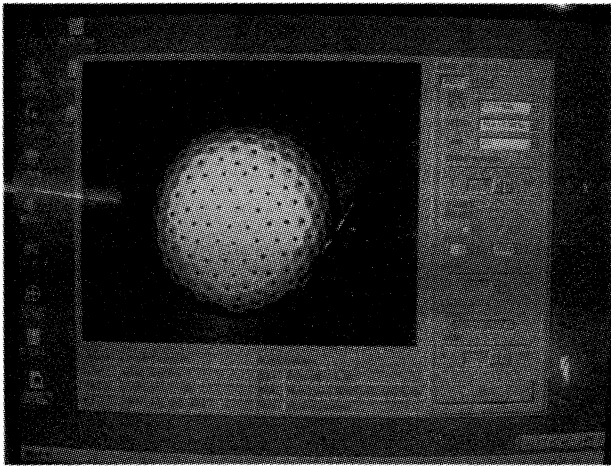


図4 撮影像の例（斜め衝突）

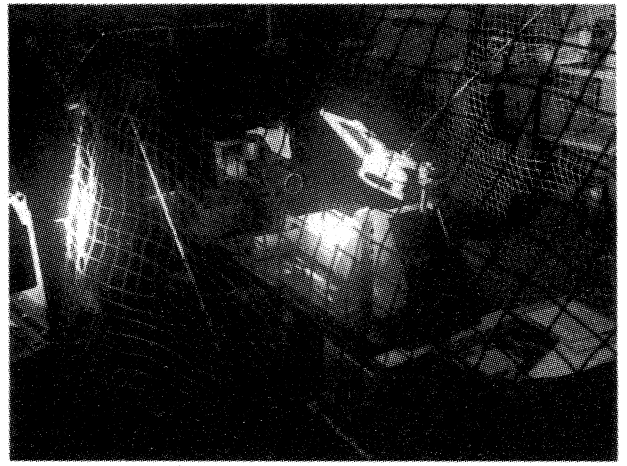


図6 上面撮影その2

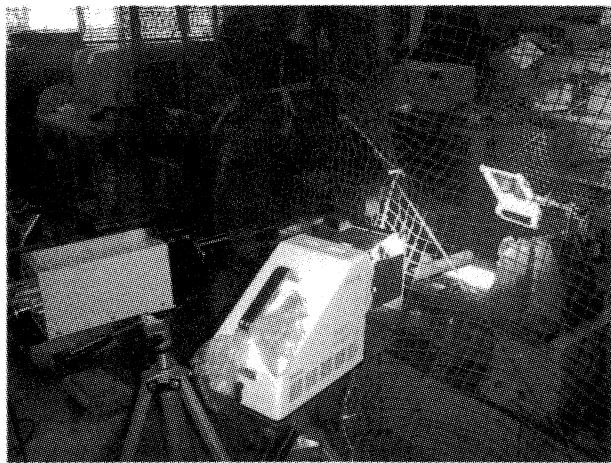


図5 上面撮影その1

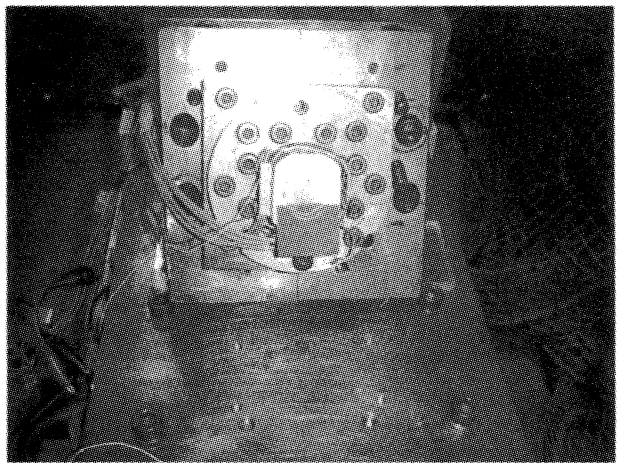


図7 実験後のサンドペーパー

た (5/25)。まず垂直にしたロードセルにボールを衝突させた。

#### 4. 本実験その2 (30° 斜め衝突側面撮影)

ロードセルを30度に変更した。入射速度計測装置の調子が悪いので、レーザ波形を記録して波形変化から入射速度  $V_i$  を算出した。ピント合せは結構難しい。ロードセルの表面性状をドライ、水、油（機械油 Shell132 番）に変えて撮影を行った。

#### 5. 本実験その3 (30° 斜め衝突上面撮影)

ロードセルの上部に鏡をセットして、上からの撮影と等価な映像を撮影した。適量な光量とカメラ配置の整合性を両立する光学配置に苦労した（半日費やす）。カメラは真上からではなく、わずかにランチャーよりの斜め上から見た映像になっている。図5と6に鏡の配置の写真を示す。照明光は鏡に向いている。ロードセルの表面性状はドライのみである。カメラのトリガ用に用いた圧電

素子 (PZT) の調子が悪かった。

#### 6. 本実験その6 (メカニズム)

別テーマの実験可視化の後、再度ゴルフボール斜め衝突を撮影した。斜め衝突のメカニズム解明を探るために各種の変わった実験を行った。  
①衝突全面に厚さ5mm, 2mmのゴムを敷いた ②衝突面に厚さ2mm, 10φのゴムを置いた ③サンドペーパーを半分敷いた (図7参照) ④衝突全面にプレスケール (感圧紙) を貼った ⑤表面性状をドライと水として各々超低速で衝突させた。なお、改めて撮影の配置を行ったので、視野の大きさが変わった (6/6)。

#### 7. 本実験その7 (溝付きとNew ボール)

スコアライン有り無しと表面性状及び各種のボールを組み合わせて、可視化を行った。角度は30°である。溝がU字で深いと、ボール表面の皮を破く事が分かった。ここに水が沁み、反

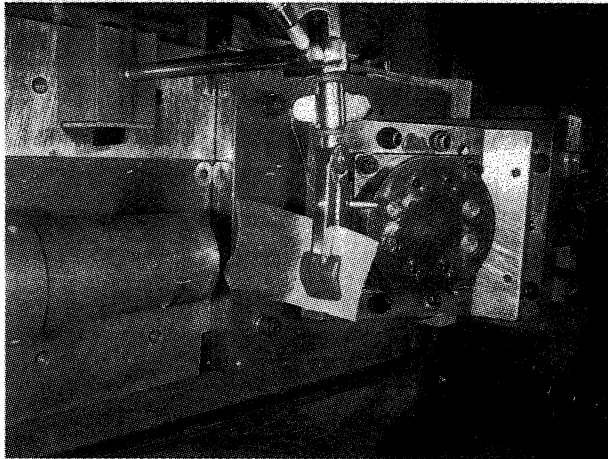


図8 ターゲットに草を敷いた実験

発係数を低下させている。溝がV字で浅い試料もテストした(殆ど6/7)。

### 8. 本実験その8 (高角度・低速)

予定した計画が順調に消化できたので、高角度・低速実験に取り組んだ。ターゲットを変更した。ターゲットの角度は40度、50度、60度である。50度の時、草を敷き詰めた実験を行った(図8参照)。60度の最後にターゲットの表面はドライで、ボールだけに水を付けるテストを試した。これを図9に示す。ボールはランチャーから出た直後に水に浸したキムタオルを通過するが、適度の強度を持つため破けない。この時ボールに水が付着する。撮影動画を見ると、回転がないのでターゲットが水の状態に十分匹敵しそうである(6/8から6/9)。

6/9に行った14実験はファイルをM0に保存しようとした時にパソコンシステムが壊れ、後日何とか12撮影が救出できた。なお、ハードディスクからのファイルの救出に関しては、最後の付記で記述する。

### 9. 解析方法の検討

撮影は終了したが、本当に大変なのはこれからの解析である。「何が何処までできるか」を考えた。継続となっていた課題の1部は

- ① ボール表面点の多数の軌跡が追える写真
- ② 輪郭や接触直径が明確に区別できる写真
- ③ 伸縮と膨らみの場所による相違
- ④ 場所によるボール回転量の相違
- ⑤ 垂直衝突における変形

などである。今回①、②、⑤はクリアーできている。

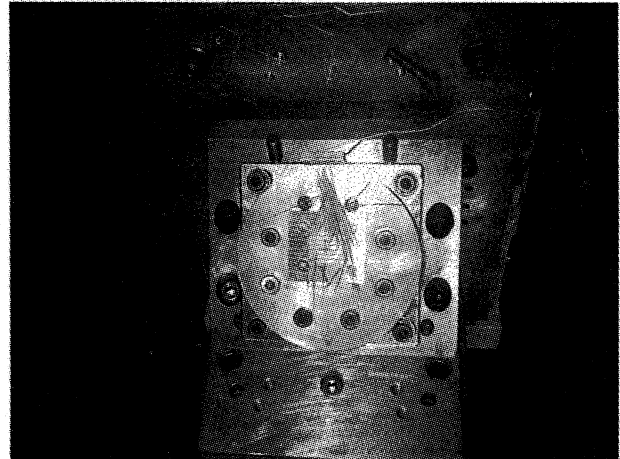


図9 ドライでボールだけWet状態の実験

特記できる点はボールの中心座標が明確になる(あくまで2次元画像ではあるが)事である。中心が明確になることで③、④も議論しやすくなると思われる。他にも今回の撮影で

- ⑥ 回転・変形・移動量の分離
- ⑦ 接触面直径や非対称性
- ⑧ 回転中心

に関する新たな発展が期待できる。

### 10. 画像相関法を用いた多数点の軌跡

画像相関法のメリットは ①人力によるデジタル作業が不要 ②多数点や多数コマを追える ③人為的な計測誤差がない 等が考えられる。特に②は魅力的である。ボールの場所によるひずみの差などを議論する場合には計測点は多いほど有り難い。

しかし大きな問題がある。回転する物体の軌跡は追えない点である。諦めるのは簡単であるが、何とか利用できないかを考えた。

#### I テンプレート画像を回転させる。

一般的な方法であるが、テンプレート画像を回転させるとひし形になる。すると計測画像とテンプレートの1ピクセルの形状が対応しなくなるので、形を正方形に変換し、それに対応した濃度値を与えなくてはいけない。与える濃度値は回転角をパラメーター(重み付けが必要)とするので複雑である。かつ何度回転するか不明なので、例えば0.1度刻みで回転させてその都度相関値を得て、最大の相関値を出す回転角を決定する必要がある。多分望みの時間では軌跡を得ることはできないであろう。

#### II 比較画像を回転させる。

そこで、テンプレート画像は固定して、計測画

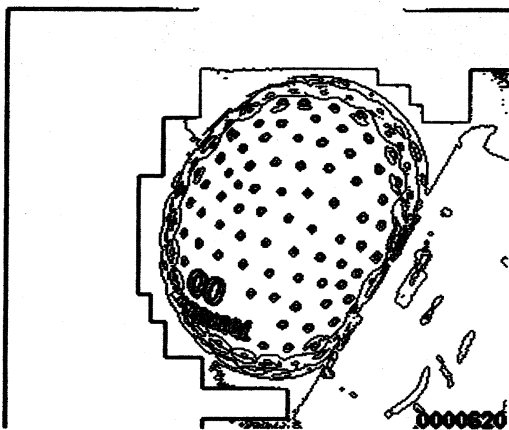


図10 境界のトレース画像

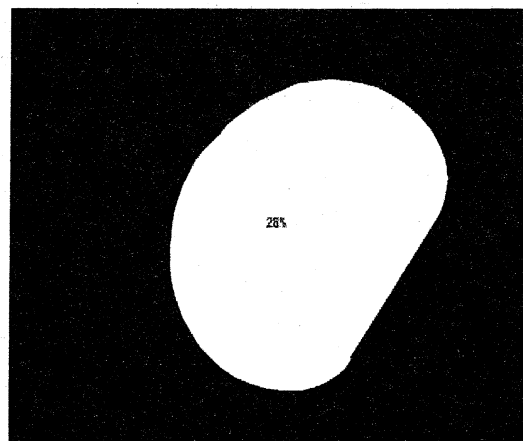


図11 多角形近似で抽出したボール輪郭

像の方を回転させる。よって回転画像を準備する必要がある。回転させる際には、回転角を知っておかねばならない。事前に画像の2点座標を読み取って概略の回転角を調べる。極端には、この時例えば計測したい全ての点の座標を、コマ画像毎に読み取ればデジタイズ（軌跡のデータ化）が完了したことを意味するが、大変な作業量である。2点であれば、それ程負担にはならない。画像を、Photoshopを利用して該当角(Degree)に応じて回転させる。回転させた新しい画像はサイズが大きくなっているため、元画像320×268の大きさを切り出す。この作業が結構大変である。切り出し位置の決定はPhotoshopで一定にできる。こうすることで、回転に対応していない画像関連プログラムが適用可能である。詳細は割愛する。

次にエクセルの表計算標準ワークシートを作ると、次の実験計測からはデータを入れ替えるだけで良く、計算式記述や図示の手間が省ける。なお、1点のみターゲットに接するほどの接近する点を手動で読み取ったが、画像相関法では無理があると思える。

今は、何が、どこまで計測や処理できるかを検討している。画像相関法はデータ解析に使用できそうである。実際には計測点数やコマ数の吟味をして、計測点が少なく、時間間隔も粗くて良ければ、全て手動計測した方が早いという事になるかも知れない。又、斜面に対する接線や法線方向が問題になるので、ターゲットを水平にした画像を元に計測して行くことになる。

### 11. 輪郭の正確な抽出（面積評価）

画像からボール輪郭が明確になったとは言え、面積を計算させるには2値化像に耐える必要がある。衝突前はひずみがないとして、2値化で

きる。

問題は接触中のボール輪郭である。Photoshopの輪郭のトレースによって図10は描けた。しかし、これから正確な輪郭を決定するのは簡単ではない。色々な試行錯誤により、大まかな形状決定法を発見した。多角形選択ツールを用いる方法である。今回人間の目からは輪郭が決定でき易くなっている。多角形で丹念にそれをおさえて行く。抽出した部分に色を付ければ2値化像が完成する。図11にそれを示す。この図は最大に潰れた63コマ目のボールである。多角形なので正確さは多少落ちるが、ボールの占める割合はヒストグラムから約28%になる。ひずみの無いボールと比べると3.5%低下している。これは奥行き方向にも膨らんでいる為だと考えられる。この手の計測は結構手間隙がかかる。

### 12. ボール表面点の動きの評価

Photoshopの画像演算機能を用いて、任意の透明度で画像を重ね合わせる事が出来る。詳細と結果は割愛する。

### 13. 手動によってデータ化した軌跡の結果

計測点は多いほど好ましいが、人間の手によってデータ化するとなると数は限られる。場所の違いによる差を確かめるべく、16点を計測した。斜め衝突30°、 $V_i=60.8\text{m/s}$ 、表面性状ドライの結果を図12に示す。極座標で約45度刻みに、半径rが2通りとなる様なマーク点を計測点に選んだ。計測に当っては2コマを重ね、中央付近を一致させた合成写真を使用した。これをしないと同じ様なマークなので、計測点の同定が大変である。詳細は割愛するが、結局は再度1枚1枚を使って、手動で読み取る事に

なった。これらは、移動と変形と回転が複合したトータルの動き（見かけの移動量）に他ならない。すぐに本質は出てこない点は注意しておく必要がある。

#### 14. 回転と変形と移動の分離

変形中も移動中も回転を伴っている（同時進行）。ただし、回転が非線形に行われると、多分手に負えないだろう。コマ間は線形で回転すると考えよう。とは言え、3つの量が複合したデータで考えるのは難しい。そこで、垂直衝突や上面撮影のデータが生きてくる事になる。方針を簡条書きにする。

- ① 垂直衝突から法線方向の変形量を入射速度  $V_i$  のパラメーターとして、時間の関数で一般化して表わす
- ② 斜め衝突の法線方向データから（場所による違いも考慮して）上記を差し引く。残るのは膨らみ変形と移動  $MX$  と  $RX, RY$  である。
- ③ 膨らみ変形も垂直衝突の場合と同じ（左右対称）と仮定して、差し引く。残るのは移動  $MX$  と回転による  $RX, RY$  である。
- ④ コマ間の回転中心座標は一定  $(X_c, Y_c)$  とし、回転角を  $\theta$  とする。次のコマ間では回転中心は移動していると考え（結果として固定点になるかも知れないが）。また回転に関しては部位による回転角の違いはないと仮定する（差が生じていれば変形量が異なるからと考える）。

#### 15. さいごに

3度目の撮影の経過と解析の方針を記述した（本レポート記述時には、データ化や解析は進んでおり、ここで記した通りに実行した訳ではない。しかし、その経過を残しておく事は意義があるろう）。

まだ本解析を始めた訳ではない。本解析になると大変である。この様な検討をしている時が楽しいものである。今回は撮影動画を何度も見ることをしていないので、本解析はしばらく先になるろう。とは言え、いつまでも前準備に時間を費やすわけにも行かない。2度手間にならないデータ化作業を進めたい。

今後は暇な折に徐々に、かつ正確にボール表面多数点の軌跡データを計測して行きたい。これが得られたとして、そこから何を解明するのが問題である。

#### 謝辞

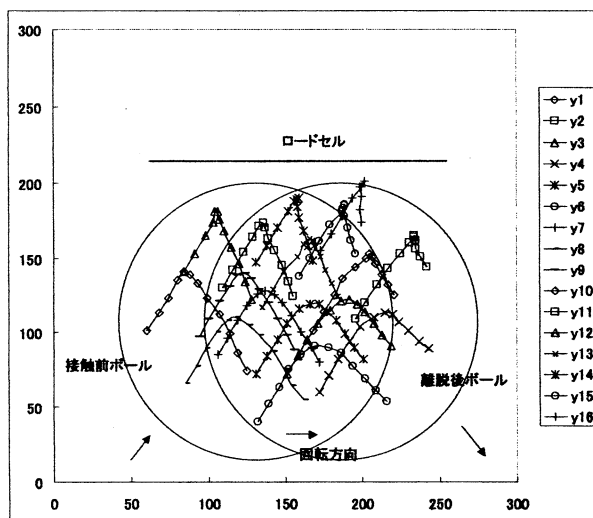


図12 手で軌跡を読み取った結果

可視化実験においてはガス銃の操作等全面的に小松治男氏に依存した。また、貴重な高速ビデオカメラを近畿大学からお借りした。記して謝意を表します。

#### 付記

6/9の実験を終え、ハードディスクのファイルをM0にコピーしようとして、WindowsNTのシステムが壊れてしまった。再起動してもシステムが立ち上がらないので、手の打ちようがない。特にNTFSフォーマットなので、MS-DOSシステムを立ち上げて、中が見れないのは厄介である。翌日も実験を考えていたが、それどころではなくなった。ほぼ予定の実験は終わっているので、新規の実験は諦めるとして、痛いのは14撮影のファイルが壊れたハードディスクに眠っていることである。6/10はこれが何とかできな

いかとパソコンをいじってみたが、ダメであった。5時以降に近畿大学とようやく連絡が付いた。来週の水曜日から近大で実験予定になっているので、すぐに送り返して欲しいと言われる。

土曜日に出てきて、日通航空便にて送る。

月曜日に近畿大学に配達されたようだ。この後の詳細は知る由も無いが、カメラシステムは金曜日から使えるようになったらしい。多大な迷惑をかけてしまったが、ハードディスクは何時壊れるか分からない生き物なので、仕方がない。ファイル救出は無理であろうということであった。

無理を言って壊れたハードディスクを送ってもらう。時間がかかっても、何とかならないかとの一心である。望みはシステムとデータの保管場所が別パーティションになっている事である。システムのドライブは読めなくても、データのドライブは読める可能性が残されている。

6/23に届いたハードディスクを早速WindowsXPで働いているパソコンに接続して立ち上げる。この際壊れたハードディスク(IDE)は、プライマリー or セカンダリーのマスター or スレーブが重複しないように設定を変更し

た。立ち上げ時にエラーメッセージが出て、延々とチェックを続け出す。待つこと1時間、諦めたころにWindowsXPシステムが立ち上がった。この間XPは壊れたチェーンを繋ぐ修復作業をしていたと想像できる。NTFSと言ってもFAT(例えば地図の索引)的な管理をしているはずである。例を挙げると、水没した箇所(道は不通)を船で進みながら、孤立している高台の集落まで到達した様な物である。この後、目指す家へは地図が有るので行くことができる。

壊れたハードディスクはD:、E:ドライブとして見えていた。ここでD:のシステム域にアクセスするのは危険である(又1から家探しをする恐れが有る)。E:にアクセスすると多少の時間は経過したが、内部フォルダーが見えた。フォルダーごとのコピーは途中で失敗した。下層に行って、フォルダーやファイルを1つずつコピーする。1動画は元々の保存忘れ、もう1動画はファイルの破損があった。残る12動画は救出に成功した!

もっと苦労しないと復元できないと予想したが、意外と簡単に救出できた。しかしながら、壊れないハードディスクが一番良い。