



Gakugei 東京学芸大学  
Tokyo Gakugei University

# 発掘調査のデジタル情報化

東京学芸大学2023年度秋学期「文化財と関連諸学A」第2回

2023/10/24



# スライド資料の保存場所について



- GitHubにリポジトリを作成しています
- GitHubの使い方は後ほど



☰ kotdijian / Gakugei\_BunkazaiKanrenshogakuA

<> Code Issues Pull requests Actions Projects Wiki Security Insights Settings

About 

東京学芸大学2023年度秋学期「文化財と  
関連諸学A」（60735700）

 Activity

 0 stars

 1 watching

 0 forks

## Releases

No releases published

[Create a new release](#)

## Packages

No packages published  
Publish your first package





# 発掘調査のデジタル情報化：原理

# 発掘調査の工程段階と情報

各段階ごとに固有のデータ・情報が取得生成される



【重要】各段階で完結させるか？ データ・情報を継続利用できるか？

☞ 報告書は事前準備から発掘調査、整理作業の過程の総合化

# 情報処理の階層から見た発掘調査

Hierarchy Of Visual Understanding?

Just playing. Something in this?



基礎データ・情報を取得する場所・段階

☞ ここでしか得られないものが多い

それだけでは意味・内容が把握しづらい

☞ 公開普及には情報化・知識化が必要

☞ 総論・解説書

☞ 報告書・論文

☞ 発掘調査・整理作業

David McCandless // v 0.1 // work in progress  
InformationIsBeautiful.net



# 発掘調査は一度きり

土を掘る、出土品を取り上げるという行為

☞ 地中に埋没していた遺跡の状態を変更すること

☞ いったん変更すると元に戻すことはできない

=不可逆性

☞ できる限りの記録を取ることが重要!!



# できる限り=全て？



出土状態

洗浄、整理、分類

☞ 自然石や後世の混入品  
は除去されるかもしれない

データの整理・取捨選択  
情報化・総合・復元



復元

☞ 接合しないものは仕分け、報告  
対象から外されるかもしれない

# 何を残し、何を報告するのか？

## Hierarchy Of Visual Understanding?

Just playing. Something in this?



基礎データ・情報がなければ、報告書・論文、  
総論・解説書は作成できない

ある時点での技術・視点・方法では分からな  
かったことが後から分かるかもしれない

その時点で必要だったものだけを残すと  
何が起こるだろうか？

全てを残そうとすると何が起こるだろ  
うか？

☞ 総論・解説書

☞ 報告書・論文

☞ 発掘調査・整理作業

David McCandless // v 0.1 // work in progress  
InformationIsBeautiful.net



# 課題とデジタル情報化がもたらす解決策

- 記録データの保存
- 記録データの公開・共有方法
- (その他)



# 発掘調査のデジタル情報化：計測記録





# 埋蔵文化財イノベーション

## (2) 埋蔵文化財発掘調査に関する技術革新のための調査研究

- ① 調査技術検討委員会の開催
- ② 技術革新のための調査研究
- ③ 先進事例研究

労働者不足や機材の高騰を受け、毎年増加しつつある発掘調査費の縮減を図るため、現在、様々な分野で導入されている最新技術の発掘調査現場での導入のために必要な調査研究・技術改良を行う。

## 発掘調査のイノベーションによる新たな埋蔵文化財保護システムの構築のための調査研究事業

令和5年度予算額 29百万円  
(新 規)

### 背景・課題

我が国最初期の鉄道遺構「高輪築堤」の保存を巡る一連の動きを契機として、文化審議会の専門調査会は、開発事業と重要な埋蔵文化財の保存を持続的に両立させるために国等がとるべき方策を緊急的に審議し、令和4年7月に報告書をとりまとめて公表した。

当該報告書においては、国が早急に実施すべき取組として、重要な埋蔵文化財のリスト化や、埋蔵文化財の事前把握を推進するために有効な技術の開発・普及等が列挙されており、埋蔵文化財の保護を推進するとともに、予期せぬ埋蔵文化財の発見により発生する開発事業期間の延長や費用の増加を回避・最小化するため、国はこれらの取組を緊急的かつ計画的に推進する必要がある。

年度	民間事業	公共事業	合計
H24	9,503	43,928	53,431
25	11,474	48,430	59,904
26	10,839	51,783	62,623
27	9,612	50,338	59,951
28	10,684	49,473	60,157
29	12,368	48,167	60,535
30	11,899	42,864	54,763
31	13,158	43,211	56,369
2	13,960	44,812	58,772

民間事業の金額増加が特に顕著

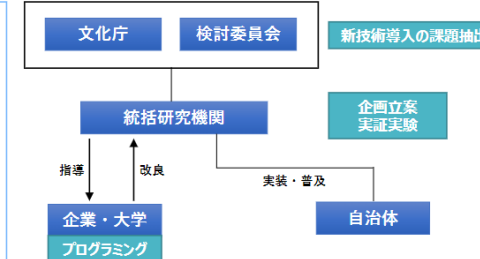
### 事業内容

#### (1) 新たな埋蔵文化財保全対策の推進<国が実施>

- ① 重要な埋蔵文化財のリスト化  
重要な埋蔵文化財リスト作成に向けた基盤情報の収集・整理を実施。
- ② 新たな埋蔵文化財保全対策の周知・普及  
遺構地図の高精度化、埋蔵文化財の価値付けに係る事例調査等を実施。

#### (2) 埋蔵文化財発掘調査に関する技術革新のための調査研究

- ① 調査技術検討委員会の開催 <文化庁と研究機関が連携して実施(右図)>
- ② 技術革新のための調査研究
- ③ 先進事例研究  
労働者不足や機材の高騰を受け、毎年増加しつつある発掘調査費の縮減を図るため、現在、様々な分野で導入されている最新技術の発掘調査現場での導入のために必要な調査研究・技術改良を行う。



#### アウトプット(活動目標)

- 重要な埋蔵文化財のリスト化  
全国から1,000箇程度の候補地を選出し、5か年でリスト化し、開発事業者等へ周知。
- 発掘調査の技術革新のための調査研究  
埋蔵文化財の把握や発掘調査期間の縮減に資する技術に関する検証・改良と普及を実施

#### アウトカム(成果目標)

重要な埋蔵文化財の所在が予測される場所をあらかじめ周知することで、計画変更等のリスクを低減させる。そのために、遺構地図の高精度化、埋蔵文化財の価値付けの考え方の方法論を整理し、普及啓発を図るとともに、新技術に基づく発掘調査支援ソフトを開発し、発掘調査の効率化・費用の低廉化を目指す。  
総発掘費用を約15%縮減(600億円→500億円)

#### インパクト(国民・社会への影響)

重要な埋蔵文化財を避けた開発事業の立案を可能にするともに、新技術を活用することで発掘調査の費用や工期を縮減する。  
これにより、埋蔵文化財の保護と社会経済活動の根幹である開発行為の持続的な両立が可能となる。

[https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunka\\_gyosei/yosan/pdf/93858001\\_01.pdf](https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunka_gyosei/yosan/pdf/93858001_01.pdf)

# 作業と情報のフロー



## 各工程段階における記録

- 予備的調査における記録: 分布調査、範囲確認調査、試掘調査
- 本発掘調査における記録: 調査開始前、調査中、調査完了時
- 整理作業における記録



# 対象の種類や規模による情報の分類

- 対象遺跡を含む一定の範囲：地域・地理・地形情報、地質情報、考古・歴史情報
- 遺跡全体：地形（微地形）情報、土地利用履歴情報、グリッド・基準点・参照点情報
- 調査区全体：調査区位置・形状情報、遺構配置・遺物出土位置情報、  
調査区内微地形情報、地層・堆積情報、分析試料採取位置情報、  
記録作成位置情報、基準・参照点情報
- 遺構・遺構群：遺構位置・配置・形状情報、遺構構成・構造情報、遺構内堆積情報、  
遺構内・周辺遺物出土位置情報
- 遺物出土状況：出土位置情報、出土状態詳細情報（方位・傾斜、微細出土状況）

# 記録の範囲と区分

- 考古学的な遺跡の範囲：集落、墓域等、ある時代・時点における活動痕跡の範囲



一致しないことがほとんど

- 発掘調査範囲：学術目的、開発範囲などにより決定される

- 何回かに分けて、繰り返し実施される発掘調査

☞ その中で記録が行なわれるタイミング



UID (管理番号) と参照情報

- いつ・どこで・どのタイミングで・どのように記録されたのかが分かることの重要性





# 事前準備

- 遺跡・調査区の範囲を含む広範囲の地形等
  - ☞ 地図（地形図・各種主題図）、航空写真・衛星画像、標高データ等で把握  
+ 現地踏査・観察の結果を追加、検証する  
※詳細は第7回で
- 予測：隣接地や地形等同じような条件における遺跡立地・内容からの推測
  - ☞ 統計的手法、機械学習
- 探査：直接的な掘削（発掘）を伴わずに地中の様子を確認する
  - ☞ 地中レーダー探査、電気探査、磁気探査、電磁誘導探査（金属探知機）



# 発掘調査の記録：測量と計測

測量：測量法に規定された基準・精度・方法に則って行われる位置情報の取得

- 地球上の絶対的な位置が示される
- 公的な基準によって位置情報を共有、交換するために必要
  - ⇔ 情報を相互に利用したり参照することができる

発掘調査における記録はすべて“測量”によるべきか？

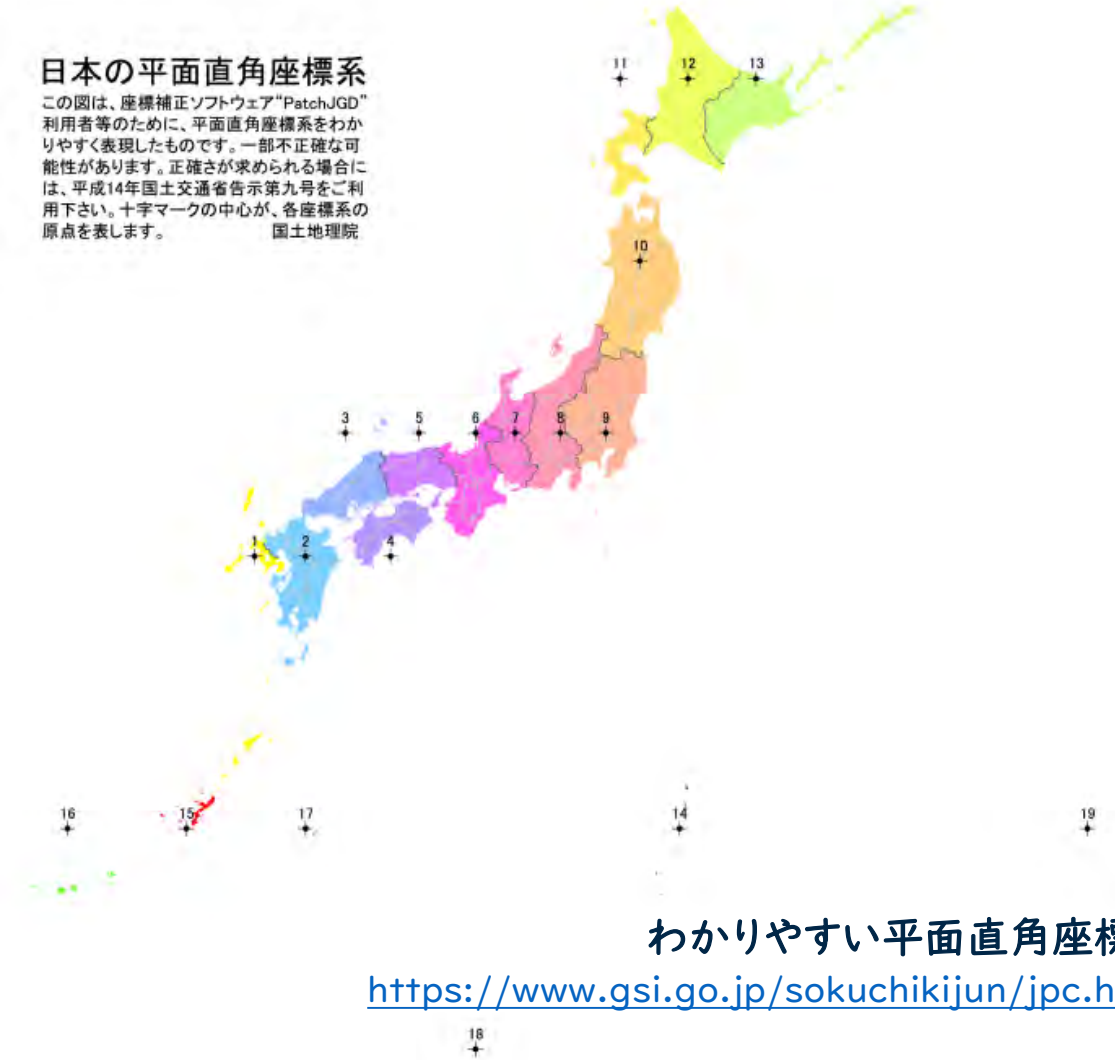
- 土木・建設部門と状況を共有、交換する必要がある情報 ☞ 測量であるべき
- 複数の遺跡・調査区間で情報を共有する必要がある場合 ☞ 測量が良い場合がある
- 1つの調査区内での記録 ☞ 必ずしも測量である必要はない

コスト／ベネフィットの検討により簡便な手法で補完することも考慮する

# 測量の基準

- 世界測地系平面直角座標系（公共座標）を使用する
- 三角点・電子基準点、および標高の基準となる水準点を利用して位置座標と標高を測定する
- 遺跡や地域単位のグリッド・座標系は公共座標と一致していなくてもよいが、少なくとも変換可能な基準を共有・記録しておく必要がある。

日本の平面直角座標系  
この図は、座標補正ソフトウェア“PatchJGD”  
利用者等のために、平面直角座標系をわかりやすく表現したものです。一部不正確な可能性  
があります。正確さが求められる場合には、平成14年国土交通省告示第九号をご利用下さい。十字マークの中心が、各座標系の  
原点を表します。 国土地理院



わかりやすい平面直角座標系

<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/jpc.html>

# 機器と手法

- 遣り方、平板、オートレベル
- セオドライト(トランシット)
- 光波測量機・トータルステーション
- LiDARスキャナーと3D写真計測
- UAV(無人航空機／ドローン)計測
- 全球測位衛星システム(GNSS)
- (写真撮影)

デジタル化機器・手法

位置・スケール情報

# デジタル化の目的

ワークフローのデジタル化＝情報処理技術への適合

☞ 単に使用する機器を置換する、中間・最終成果物を  
デジタル・データとして出力するだけではない

機械力の導入により作業効率を改善するように  
情報処理機器・技術による作業効率の改善を目指す



=







# 全体最適化を目指す:DX

## 2つのデジタル化とDX

- Digitization: 非デジタルデータをデジタル化する。
  - Digitalization: 機器・手法をデジタル化する
  - DX (Digital Transformation)
    - : ワークフローのデジタル化により新たな体験や価値を生み出す
- ☞ 個々の作業をデジタル機器・手法に置き換えるだけにとどまらない

# 遣り方測量

- 基準線、格子状グリッドを設定
  - 水系からメジャーにより距離を測り込む
  - 高さは水系から or オートレベルを使用
  - 方眼紙等に転記描画
- メリット
- 水系とメジャーがあれば実施できる
  - 目視観察しながら作図できる
- デメリット
- 精度と確からしさは測り込みの方法による



玲子の考古学教室ブログ

<https://plaza.rakuten.co.jp/koukogakunahibi/diary/201608200000/>

# 平板・オートレベル

- 平板測量：アリダードとメジャーを利用し、基準点からの方位と距離を計測、描画する方法。
- オートレベル：基準点からの比高を計測、または標高値を算出し記録する  
☞ 標高基準点の移動にも用いる。



千葉大学文学部

[http://www.l.chiba-u.ac.jp/applicants/outline/intro/class/class\\_05.html](http://www.l.chiba-u.ac.jp/applicants/outline/intro/class/class_05.html)



# セオドライト、トータルステーション

- 基準点からの角度を計測
- 水平方向+垂直方向の回転角
- 機械式→デジタル式
- セオドライト: 計測機からの斜距離をメジャー等で計測  
☞ 三角法により水平距離を算出
- 光波測量機: 計測器からの斜距離をレーザー光で計測
- トータルステーション: 光波測量機に、三角法測位計算、計測値の記録、データ転送のシステムを一体化

※ 点(単点)の位置座標を計測する

☞ 描画は別のシステム・ソフト



ニコントリンブル

[https://www.nikon-trimble.co.jp/images/field/0101\\_survey/pd\\_trimble\\_s5\\_01.jpg](https://www.nikon-trimble.co.jp/images/field/0101_survey/pd_trimble_s5_01.jpg)

# トータルステーションの現在地

- プリズム式: ターゲットが必要  
⇒ ノンプリズム式: ターゲット不要、直接視準  
☞ ワンオペ可能、操作者は機械側
- 自動追尾式  
⇒ 計測機がターゲットを自動で追跡  
☞ ワンオペ可能、操作者は計測点側  
= 計測したい場所を直接確認・指示できる
- 電子平板  
⇒ 計測点をその場でCADに示す端末との組み合わせ  
☞ 計測しながらその場で作図することが可能



一素子プリズム(ソキアAPS12S)

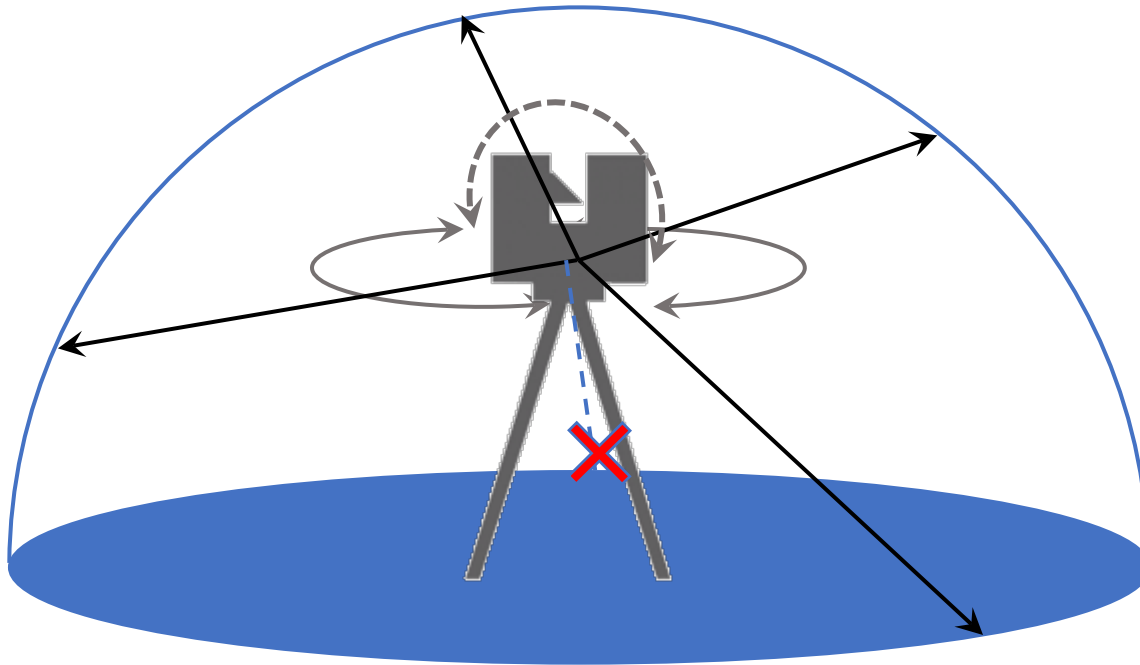


自動追尾式: トプコンLN150

<https://www.topcon.co.jp/news/5513/>

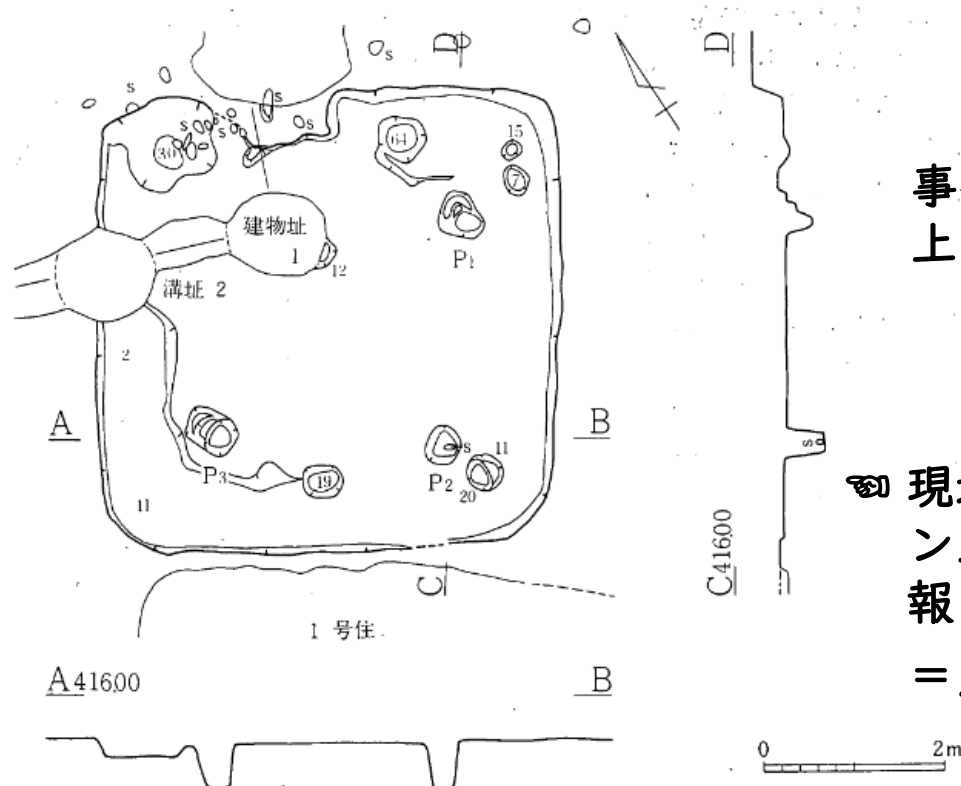
# LiDARスキャナー

- Light Detection And Ranging: 光検出測距 (技術・機器)
- レーザー・その他の光を照射、反射波で計測
- 面的計測 ⇔ 点的計測の光波測距機・トータルステーションと異なる



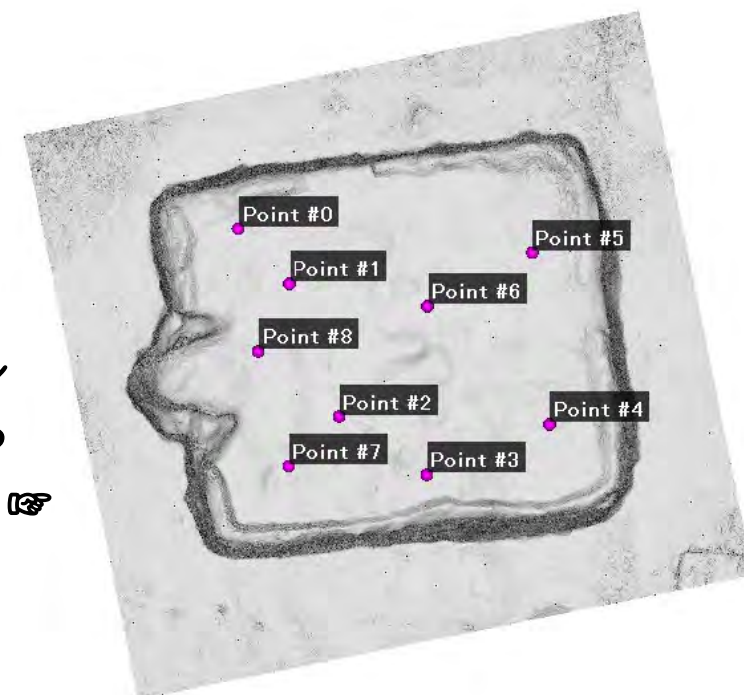
# 点的記録・面的記録

- 点的記録:特徴的な代表点の位置を記録、その間を結線し補完する
- 面的記録:対象全体を網羅的に記録する



事後に任意の点の標高や、ライン上のエレベーションを取得できる  
=面データ

現地計測した点の標高や、ライン上のエレベーション以外の情報を取得することはできない  
=点+線のデータ



1	-41586.421875000000	-38685.496093750000	92.965728759766
2	-41586.105468750000	-38685.832031250000	92.940841674805
3	-41585.800781250000	-38686.652343750000	92.922569274902
4	-41585.257812500000	-38687.011718750000	92.918792724609
5	-41584.503906250000	-38686.699218750000	92.953315734863
6	-41584.609375000000	-38685.640625000000	92.967887878418
7	-41585.253906250000	-38685.972656250000	92.942794799805
8	-41586.109375000000	-38686.957031250000	92.940956115723
9	-41586.296875000000	-38686.250000000000	92.939178466797



# LiDARスキャナー

- 屋外の計測には三脚に据えて使用するTLS (Terrestrial LiDAR Scanner) を用いる
- 計測距離は数メートル～数百メートル(最大2km)



FARO Focus Core



RIEGL VZ-2000i



Leica ScanStation



Leica BLK360

# 可搬型LiDARスキャナー

- 手持ち・移動しながら計測可能なスキャナー
- SLAM(自己位置推定環境マッピング)により  
計測結果をリアルタイムに合成



<https://shop.leica-geosystems.com/lat/es-LAT/leica-blk/blk2go>



Leica Geosystems BLK2GO

# 可搬型LiDARスキャナー

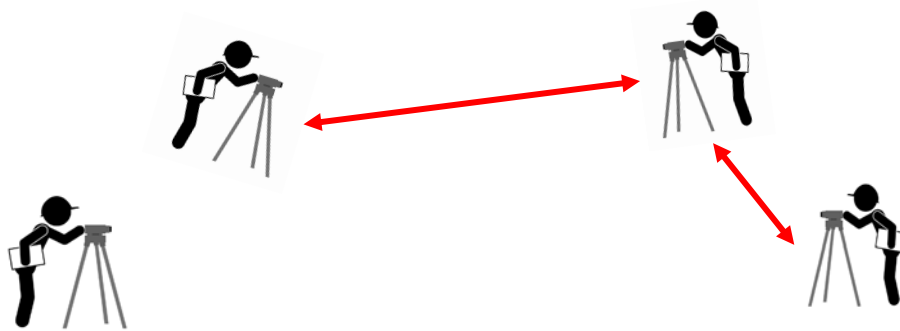


Leica Geosystems BLK2GO

# 据置型と可搬型の違い

- 据置型: 計測器が固定される=機械精度を確保できる  
⇔ 見通しによる死角が生じる ☞ 据え替えが必要
- 可搬型: 計測器はつねに移動=機械精度を確保できない  
⇔ 見通しによる死角を移動によりカバーできる ☞ 据え替え不要

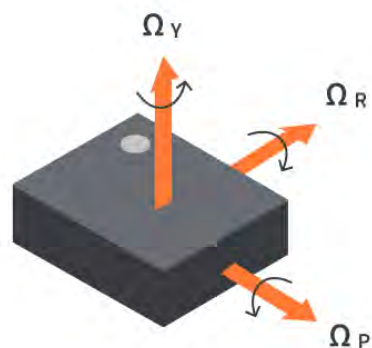
※実際の発掘現場での計測の精度や誤差については第10回で



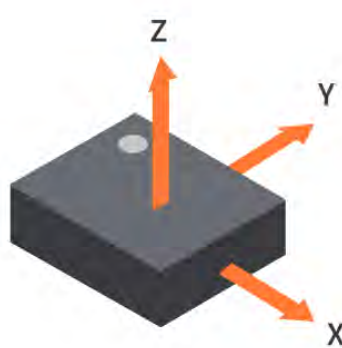


# SLAMとは？

- Simultaneous Localization And Mapping: 自己位置推定環境マッピング
- 自己の所在地を周囲の環境から推定すると同時に周囲の環境をマッピングしていく
- 各種センサーと画像情報を利用する



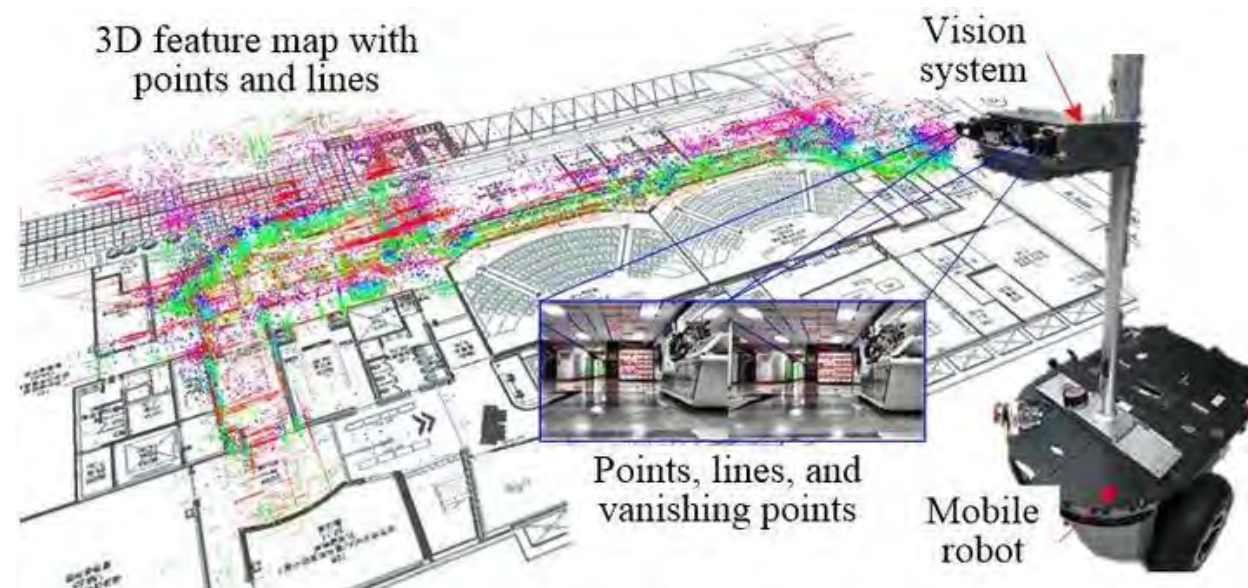
Gyroscope sensing  
Angular orientation



Accelerometer sensing  
axis orientation

ジャイロセンサーと加速度センサー

<https://www.circuitbread.com/ee-faq/how-do-accelerometers-and-gyroscopes-work>



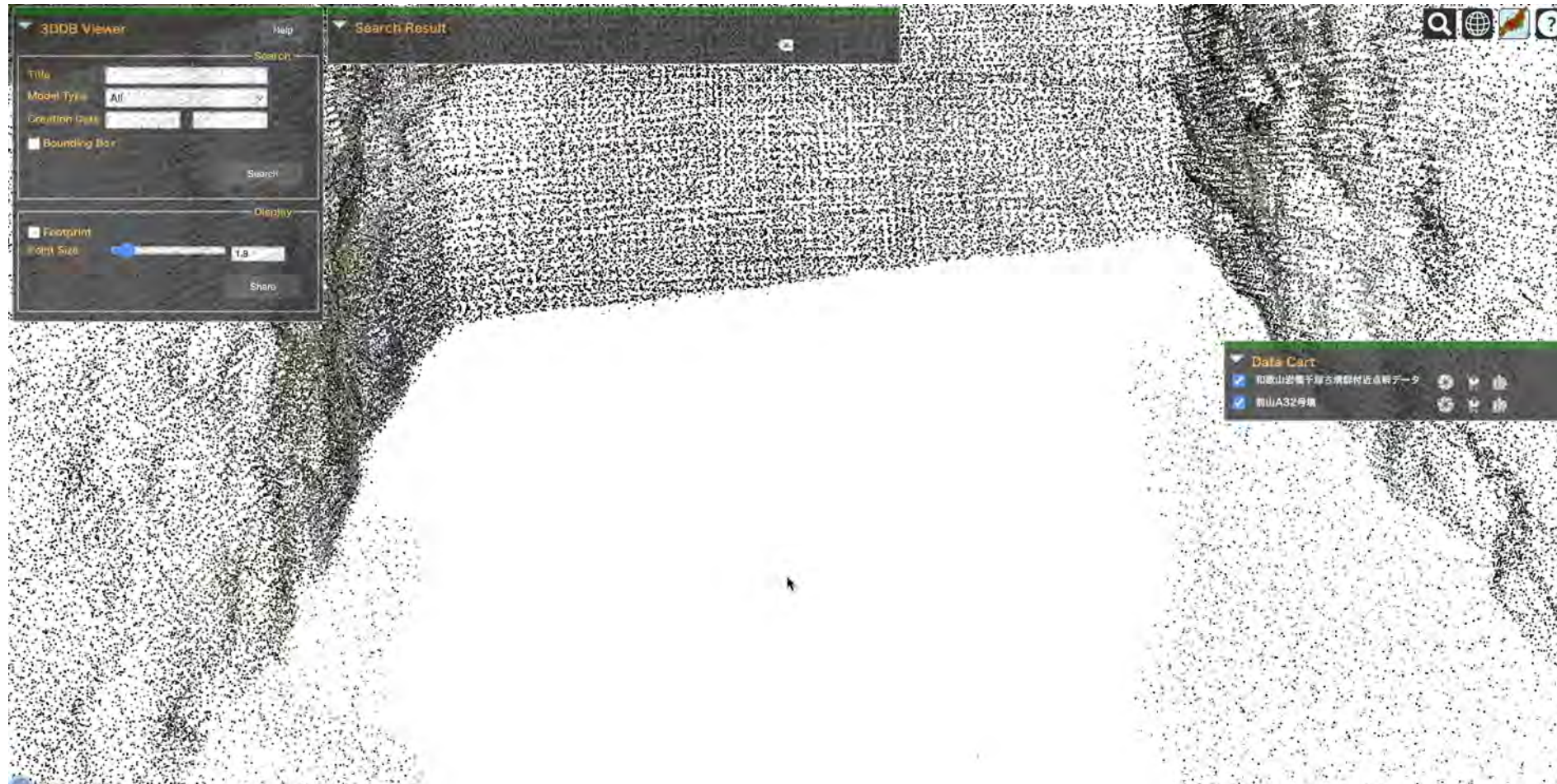
VisualSLAM by Hussein Lezzaik

[https://www.husseinlezzaik.com/project/visual\\_slam/](https://www.husseinlezzaik.com/project/visual_slam/)



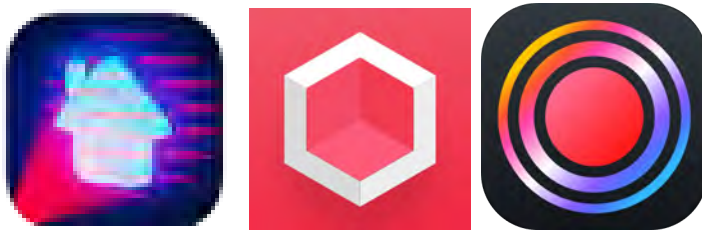
# LiDARスキャナーの計測事例

- 和歌山県岩橋千塚古墳群



# iPhoneでもLiDARスキャン

- iPhone Pro/ ProMax (12~)、iPad pro (2020~) にもLiDARが搭載されている
- 無料のものを含むアプリで簡単に計測できる
- 詳細と実習は第12回で



<https://www.apple.com/jp/iphone/>



# 発掘調査のデジタル情報化：情報処理



# 情報処理に適した管理番号

- 体系的構造的な管理番号: 調査区-グリッド-層位-種別-個別番号...、日付等

例) TKK-B区C02-II層-P0238-0004 231023

☞ 人間可読=ひとめで理解しやすい、整理操作しやすい

⇔ コンピューターには複雑・情報処理には要素分解が必要

- ユニーク・パーマネントな管理番号 (UID・PID)

例) I302540035

⇒ 一意の (=重複のない) 任意の番号 ※順序や法則性はなくて良い

☞ 機械可読=コンピュータ処理には必須

⇔ ひとめで理解できない (人間が) ☞ 有意な記号体系との併用

- ソリューション: 台帳化と仕様セクションの分離

UID	遺跡	調査区	グリッド	層位	遺構	番号	日付
I302540035	TKK	B区	C02	II層	P02	0004	2023/10/23

コンピューターが使用

人間が使用





# どの段階で、何を記録すべきか？

A) ある対象の全体像があらわになる、作業の区切りごとの記録



B) 途中経過の記録（作業内容・手順・その中での変化）

☞ すべての結果は、はたらきかけ（手段・方法）に規定される

どのような手段・方法で、どのような手順で調査を進めたのか

その途中でどのような状態が生じたのかを記録することは、結果の検証のためにも重要

+ 最終結果に欠損が生じた場合のバックアップにもなる



# 整理作業における情報処理の意義

- 発掘調査現場において記録された各種の情報の整理
  - ☞ 発掘調査進捗過程に沿った記録→過去の状況を復元する情報への転換
- ともしれば乱雑になりがちな多量の記録・情報を整理する
- 調査面・地層、調査区、遺構などの単位で異なる種類の情報をつなげ、まとめる  
(測量・計測図面、遺物出土位置、写真、分析試料採取位置)
- 発掘調査後に取得・追加される各種の情報
  - ☞ 遺物の観察・分析によって得られた情報、採取した試料の分析結果
  - ☞ 図面・写真その他の情報をつなぎ、まとめたことによって明らかになった初見



# 発掘調査時の情報、整理作業時の情報

- 発掘調査時に記録される情報
  - = 出土位置、種類(大分類)、材質
  - ☞ 多くの場合、限定的または断片的、詳細な観察分類は後回しになりがち
- 整理作業で取得・追加される情報
  - = 洗浄後の詳細な観察
  - ☞ 遺物に関する情報の大半は整理作業時に取得・追加される
  - ☞ 発掘調査時の記録を更新する場合も多い





# 計数・管理の単位

- 遺物の出土状態の単位（ほとんどの場合破片）≠考古学的単位（道具・器など）
  - ☞ 出土状態の単位を計数・管理単位とする（“点上げ遺物”）  
一定の集合・群を計数・管理単位とする（“一括遺物”）  
（抽出したサンプルを検討する場合もある）
- 個別固有の出土位置情報をもつ遺物＝出土状態を単位とすることが望ましい  
（過去の人々の行動や遺跡の形成過程を知る手掛かりとなり得る）
- 多量の遺物の計数・管理の困難さ
  - ☞ 個別にナンバリング（注記）されていると判別しやすい  
画像や重量で補完することも可能（実測図化対象外もカバー）

# 計測・観察属性の取得整理

- 単位や基準の標準化

- ☞ 成果の共有のためにも共通化されていることが望ましい

- 少なくとも一つの調査・報告書の中では一定している必要がある

例) 長さ・幅・厚さ等はどの軸を指すのか、原点はどこか、座標系は？

※ 使用した計測機器による誤差・公差、有効数字を明示することも本来は必要

- 記録の形式・書式

- ☞ 表形式は人間にとって視覚的に理解しやすい

- ⇔ 検索・並べ替えや相互参照の利便性はデータベースが高い

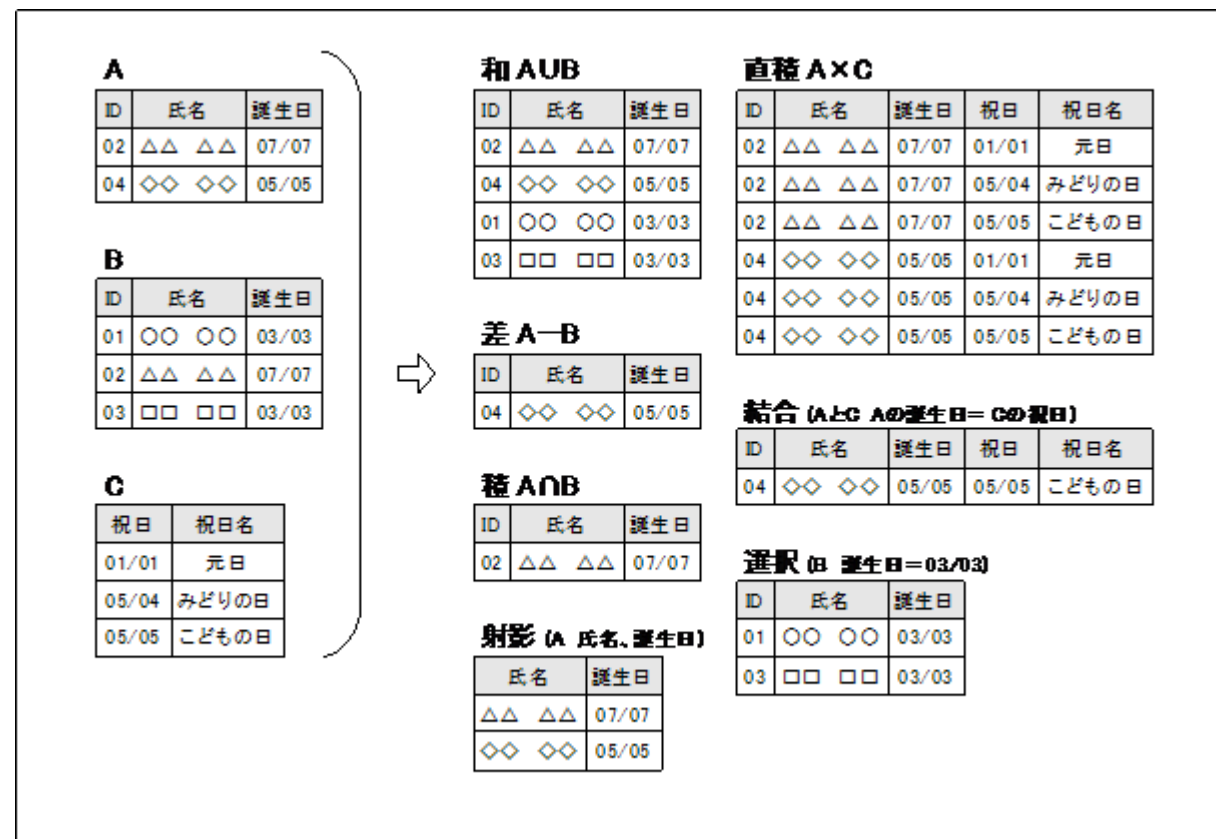
# 台帳化とデータベース化

- 台帳はいくつ作るべきか？
  - ☞ 調査範囲・対象・情報の種類・タイミング...
- 全てを一本化するのは困難
  - 例) 遺構・遺物など対象の種別により記録すべき情報が異なる
    - ☞ 無理に一本化すると大量の「空欄」が生じる
- 発掘調査後に取得・追加される各種の情報
  - ☞ 遺物の観察・分析によって得られた情報、採取した試料の分析結果
  - ☞ 図面・写真その他の情報をつなぎ、まとめたことによって明らかになった初見
    - ☞ 複数の台帳を併存させる、それらをつなぎ合わせる

# リレーショナルデータベース

## 関係モデルによるデータ管理

- 一覧表形式の管理 ⇒ 複数の表を管理番号でつなぐ  
異なる情報のグループ(遺構一覧、遺物一覧、写真一覧等)を連結する
- 連結した情報群からあらたなデータセット(集計表、一覧表等)を作成  
⇒リレーショナルに作成された集計表は固定されていない
- 元のデータセットを更新すると集計表も更新される
- FileMaker、Microsoft Access、SQLなど  
第5回で実習します(予定)





# 台帳のデジタル化

1. 台帳化：調査区ごと、図面・写真・遺物・分析試料など種別ごとなどで一覧の台帳を作成
  - ☞ デジタル化が必須（Excel、スプレッドシートなどでも良い）
2. 各台帳間のつながりを示す関係（リレーション）をUIDで構築する
  - ※ UIDは統一されていなくて良い 例) A台帳の25086⇔台帳の00053
  - ☞ リレーショナルデータベースはデジタルデータでしか構築できない
3. 画像・図面等はUID+ファイルの保存場所とファイル名をつなげておく
  - ☞ サムネールを作成すると視認性（人間可読性）が向上する
4. データベースの種別分類ごとにアイコンを作成するのも良い
5. 非デジタル記録（手描き図面等）はスキャンしてデジタル画像として保存しておく  
(バックアップ兼用)





# デジタル化のタイミングと効率

- 現状ではデジタル化機器・手法と非デジタル化機器・手法が混在している

- 整理作業～報告書作成作業ではほぼデジタル化

- ☞ 発掘調査段階で非デジタル化機器・手法で取得したデータ・情報は

整理作業段階でデジタル化される



※ 記録時点でデジタルになっている方が効率が良い

- ☞ デジタル化の手間とコスト

- ☞ デジタル化に際しての精度・解像度・品質の劣化

- ☞ デジタルデータとの組み合わせ・結合する際の精度



# バックアップとバージョン管理

- デジタルデータは複製が容易＝バックアップ作成も容易
  - ⇔ 無秩序にコピーを増やすと管理に支障を来す...
- ソリューション
  1. ネットワークディスク: 構内LANで接続したストレージ上の単一ファイルに直接アクセスする
    - ☞ ファイルは単一 ⇔ 同一ファイル上で同時に作業できるのは1人 or 限定的
  2. クラウドストレージ: インターネット回線経由でクラウドサーバー上の単一ファイルに直接アクセスする
    - ☞ ローカル(各自の端末)にコピーを置くことができるものも多い
    - ☞ 最新版に自動更新される ⇔ 旧版に差し戻すことも可能
  3. バージョン管理システム(Git等): 変更履歴の詳細(差分など)をすべて記録する
    - ☞ フォーク(分岐)やマージ(統合)も管理できる

# 発掘調査のDXを考える

個々の作業と使用する機器・手法のデジタル化

☞ 全体の作業や成果の変革

