

C G 制作演習

第4回 リギング、キーフレーム、アニメーション

本日の内容

- C G アニメーションについて
- キーフレーム法によるアニメーション
- ムービーのレンダリング

アニメーションの原理

■ 仮現運動

- 動いていないものが動いているように知覚される現象
 - 時間差を置いて異なる画像が提示されたときに動きを感じる
- 動きや点滅は視野の周辺部でも感知される

■ コマ撮り撮影

- 少しずつ形の異なる静止画を連続で作成する
- ストップモーション・アニメーション
 - 紙、切り絵、クレイ（粘土）、砂
 - 人形（パペット・アニメーション）

フレームレート

- テレビ 30 fps (frame per second, 1秒当たりの枚数)
 - これは日米で採用している NTSC 方式の場合
 - 正確には 29.97 fps
 - ヨーロッパで採用されている PAL 方式は 25 fps
- 映画 24 fps
 - 最近のデジタルシネマでは 48 fps や 60 fps、120fps のものもある

フレームレートの違い

1fps



■ 30fps



セルアニメーションの制作

■ 原画

- 動きの基準になる画像

■ 動画

- 原画と原画の間を結ぶ画像
- 動きをなめらかに表現する

■ 中割り

- 原画から次の原画への動きをつなぐ動画を作成する作業
- インビトウィーン (In-between)

C G アニメーションの制作

- 手続きによるアニメーション
- シミュレーションによるアニメーション
- サンプリングによるアニメーション
- 手作業によるアニメーション

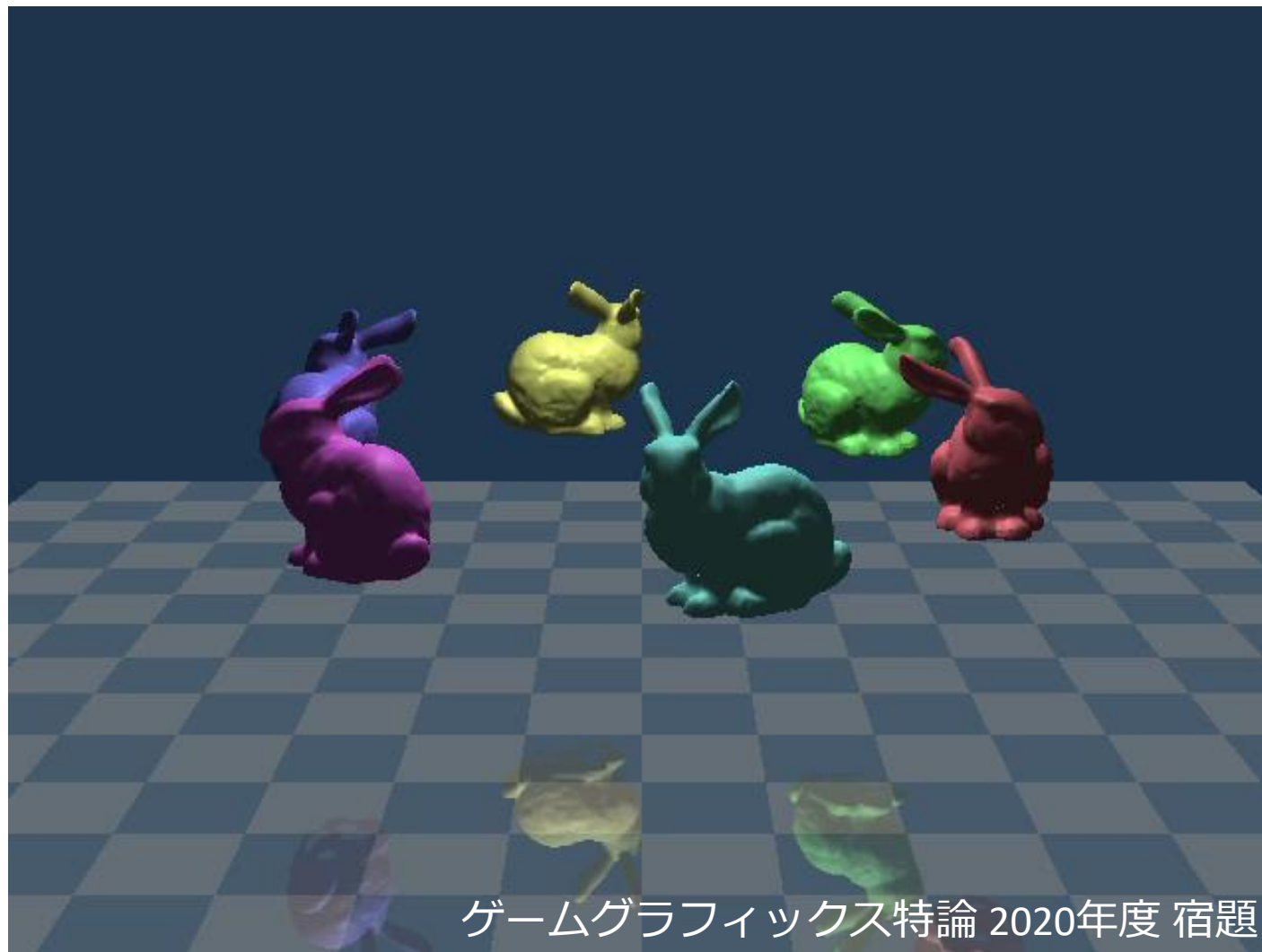
手続きによるアニメーション

- 動きを手続き（手順、プログラム）で表現する
- プロシージャルアニメーション

スクリプト制御

- 多くのCGアプリケーションはプログラミングにより機能を拡張できる
 - スクリプト開発環境を持つ
- プログラミングによりアニメーションを定義する
 - プロシージャルアニメーション (Procedural Animation)
- 数式や関数によってアニメーションを定義する
 - エクスプレッション (Expression)

二次関数と三角関数の組み合わせ



ゲームグラフィックス特論 2020年度 宿題

シミュレーションによるアニメーション

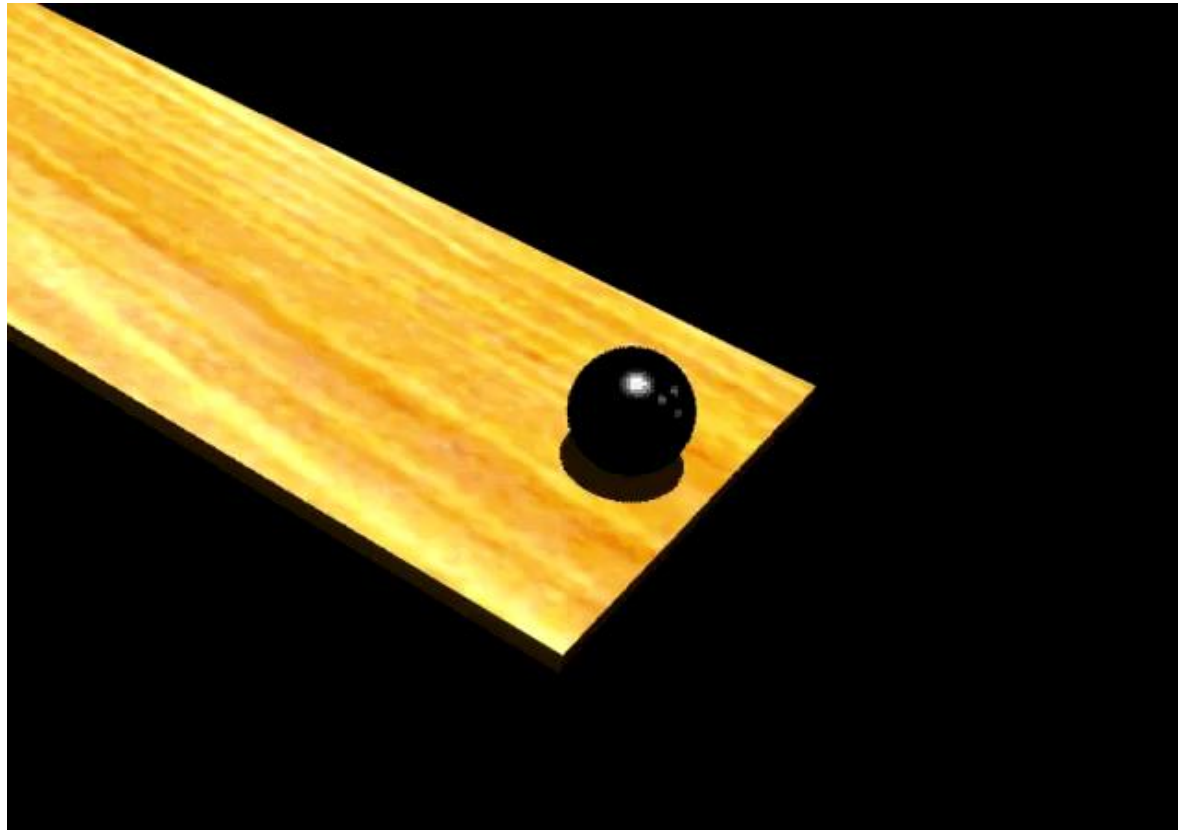
- 現象をモデル化してシミュレーションにより再現する
- 物理シミュレーション
 - 運動シミュレーション
 - 流体シミュレーション
- 成長シミュレーション
- 群衆シミュレーション
- 経年変化

物理シミュレーション

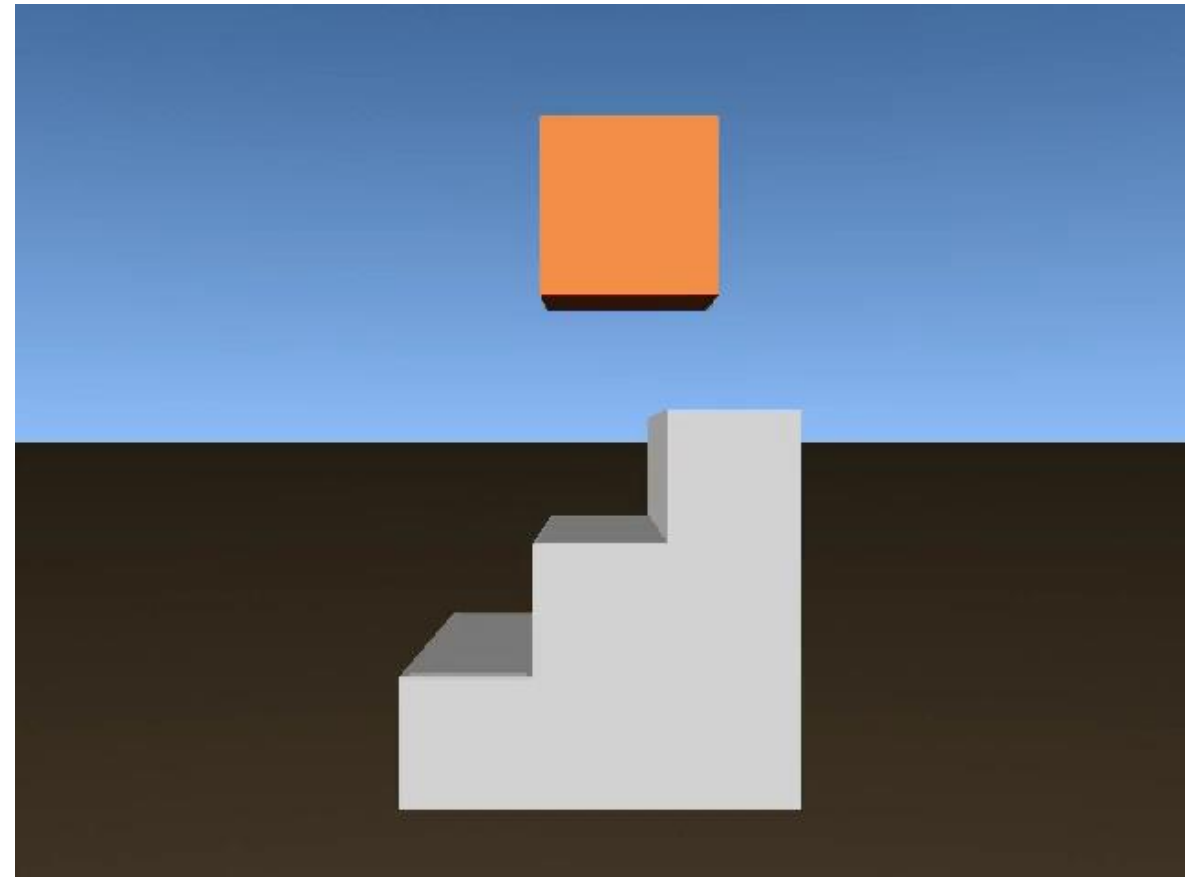
- 手作業では作成困難なリアルな動きを生成する
 - リジッドボディ
 - 剛体（形が変形しない物体）のシミュレーション
 - ソフトボディ
 - 軟体（形が変形する物体）のシミュレーション
 - クロス（布）シミュレーション
 - ソフトボディの一種で布の表現に特化したもの
- モーションダイナミクス

モーションダイナミクス

リジッドボディ



ソフトボディ



パーティクルによる流体シミュレーション

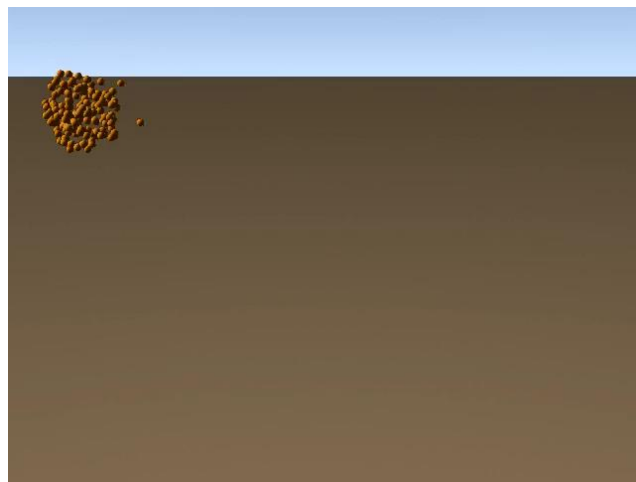
■ パーティクルシステム

- 大量の粒子をコントロールするための技術

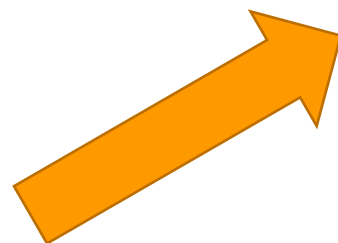
■ 粒子に様々な形状や効果を割り当てる

- 水、煙、炎

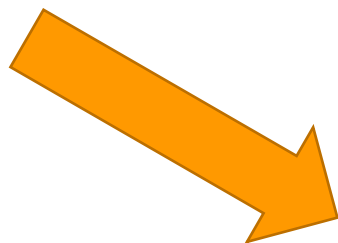
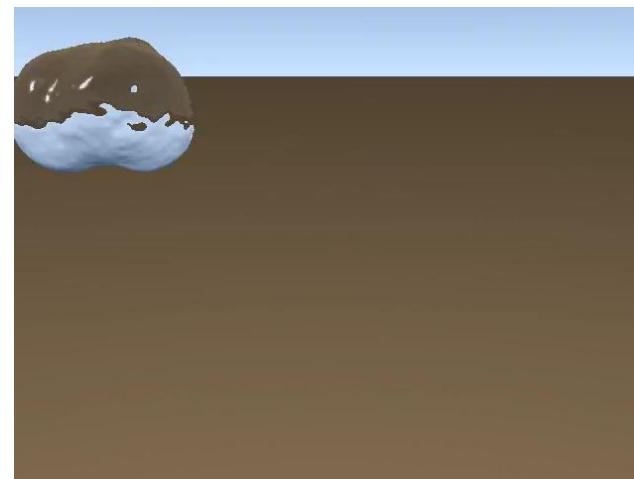
パーティクルによる流体の表現



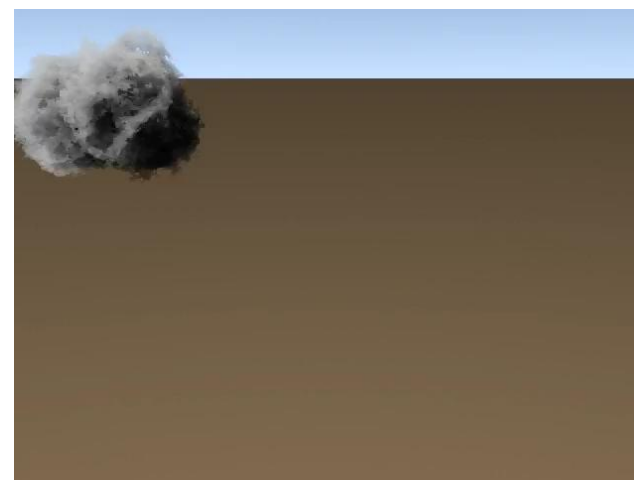
パーティクルに
球を割り当てた場合



メタボール



ノイズ



群集（フロック）アニメーション

- 群れの行動をコントロールするための技術
- 行動に法則を設定してシミュレーションする
 - 障害物と出会った場合
 - お互いの距離がどの程度まで近づいたら反発するか
- 個々の個体の動きは独立していても全体ではひとつの方向に動いている
 - 魚や鳥など

戦闘シミュレーション

基本

2014年度 卒業研究

サンプリングによるアニメーション

- 実際の動きを取得してアニメーションを制作する
- ロトスコープ
 - 動画像を解析してアニメーションデータを得る
- モーションキャプチャ
 - 計測装置を使ってアニメーションデータを得る

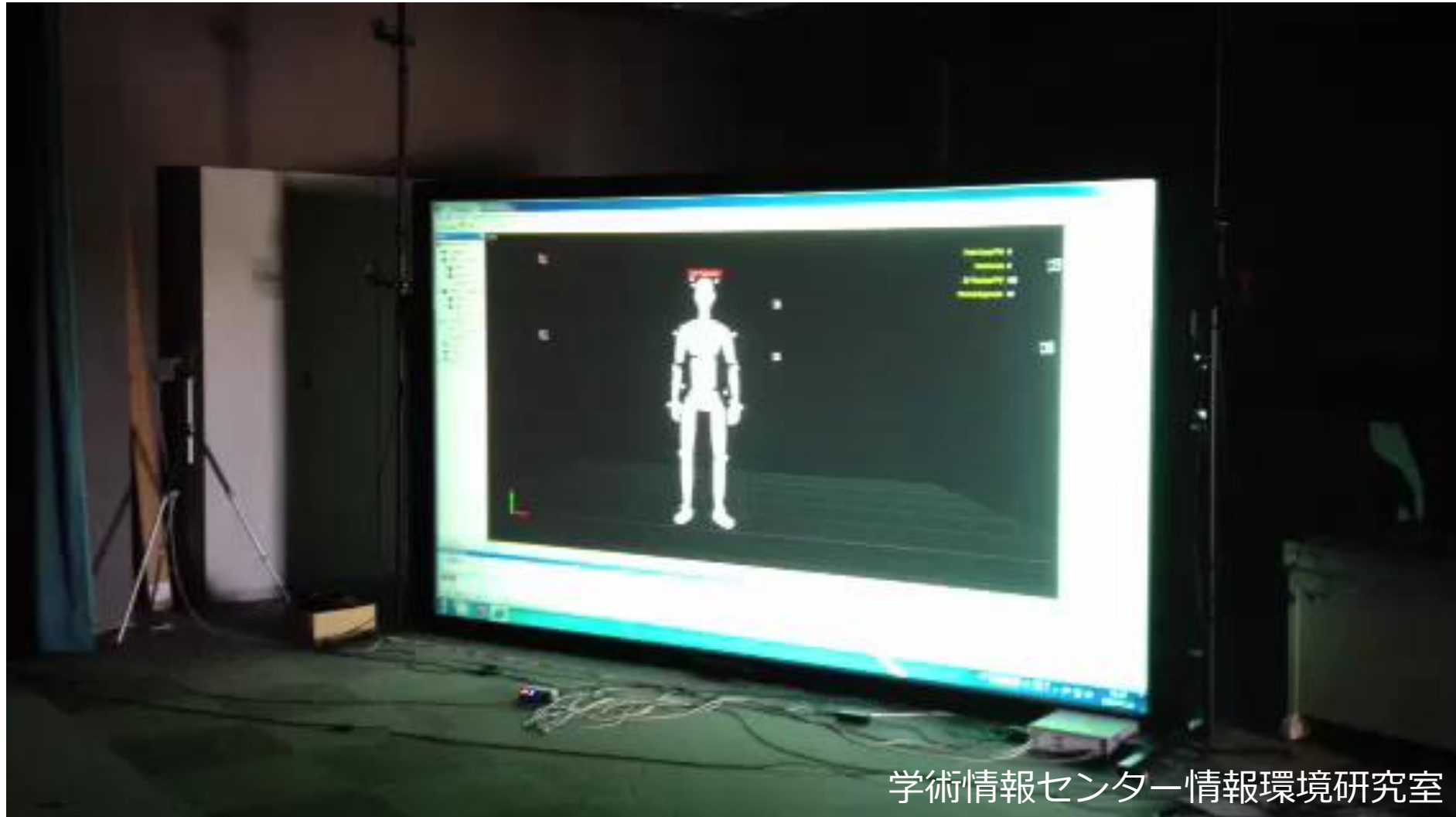
ロトスコープ

- 実写をトレースしてアニメーションを作成する
 - セルアニメーションでは古くから使われている技術
 - CGアニメーションでもモーションキャプチャが実用化される前に使われていた
 - モーションキャプチャの利用が困難な対象には有効
 - 故人とか猛獣とか
 - 2次元画像をもとにするので3次元データの生成には限界がある

モーションキャプチャ

- 人の演技などを計測して直接 3 次元のアニメーションデータを得る
 - 手作業では作成困難なリアルな動きを得る
 - リアルでない動きの作成にはひと手間必要
 - 伝統的なアニメーションのように誇張された表現には向かない
 - 動きを取得した対象（実在の人）と動きを反映する対象（CGのキャラクタ）は大きさの比率を合わせておいた方がよい
 - これらは解決する手法が提案されている

モーションキャプチャシステム



学術情報センター情報環境研究室

手作業によるアニメーション

■ キーフレーム法

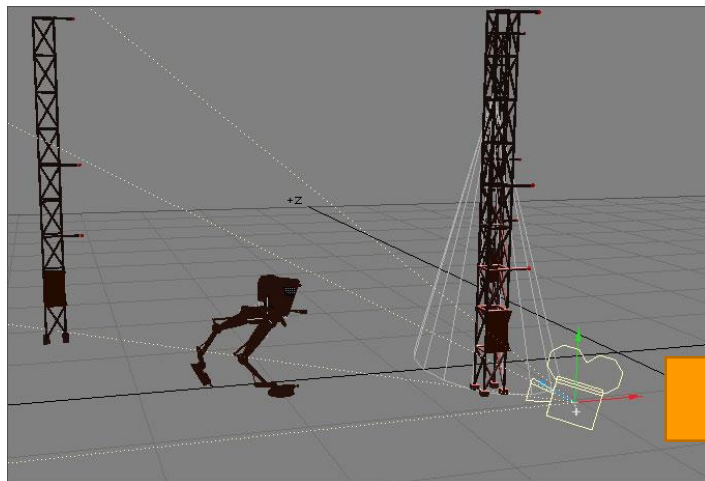
- 一連の動きの中でポイントとなる瞬間のポーズや状態を表したフレーム（原画、キーフレーム）を作成し、その間を結ぶフレーム（動画）を作成することにより（中割り、インビトウィーン）アニメーションを制作する手法

■ 中割り

- キーフレーム間を連続的に結ぶ中間画像を作成すること
- コンピュータアニメーションではキーフレーム間の補間により中割りを行う

カメラのキーフレームアニメーション

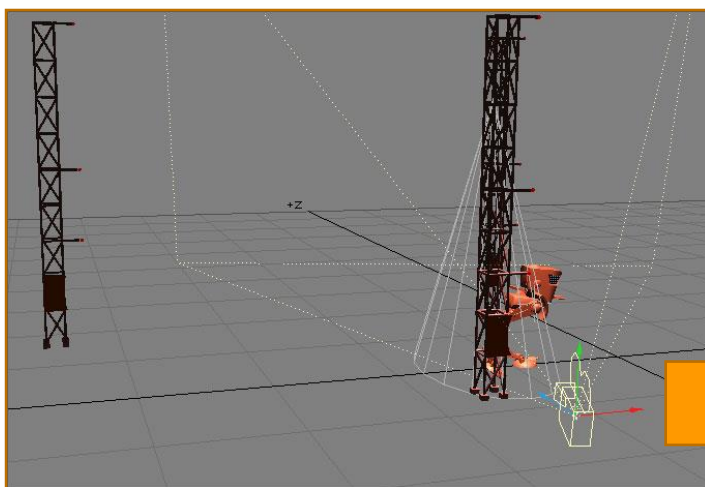
最初



カメラ



最後



カメラ



オブジェクトのアニメーション

■ オブジェクトを時間の経過に従って動かす

■ 位置・回転・スケール

- オブジェクトがもつ基本的な情報である位置や回転（向き）、スケール（大きさ）を時間とともに変化させる

■ パスアニメーション

- オブジェクトを経路（パス）に沿って移動させる
 - オブジェクトの軌跡を正確に制御する
 - 軌跡は変化させずにタイミングだけを変える

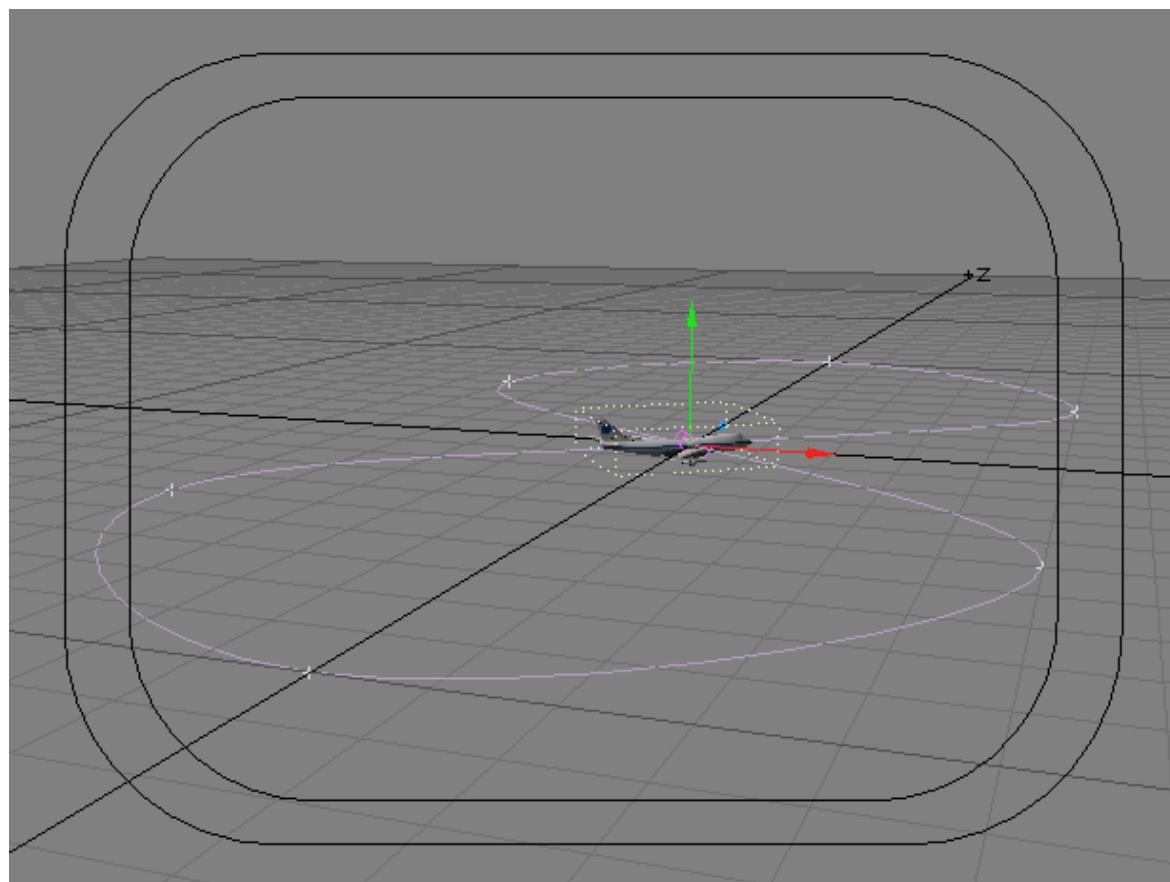
位置・回転・スケールのアニメーション



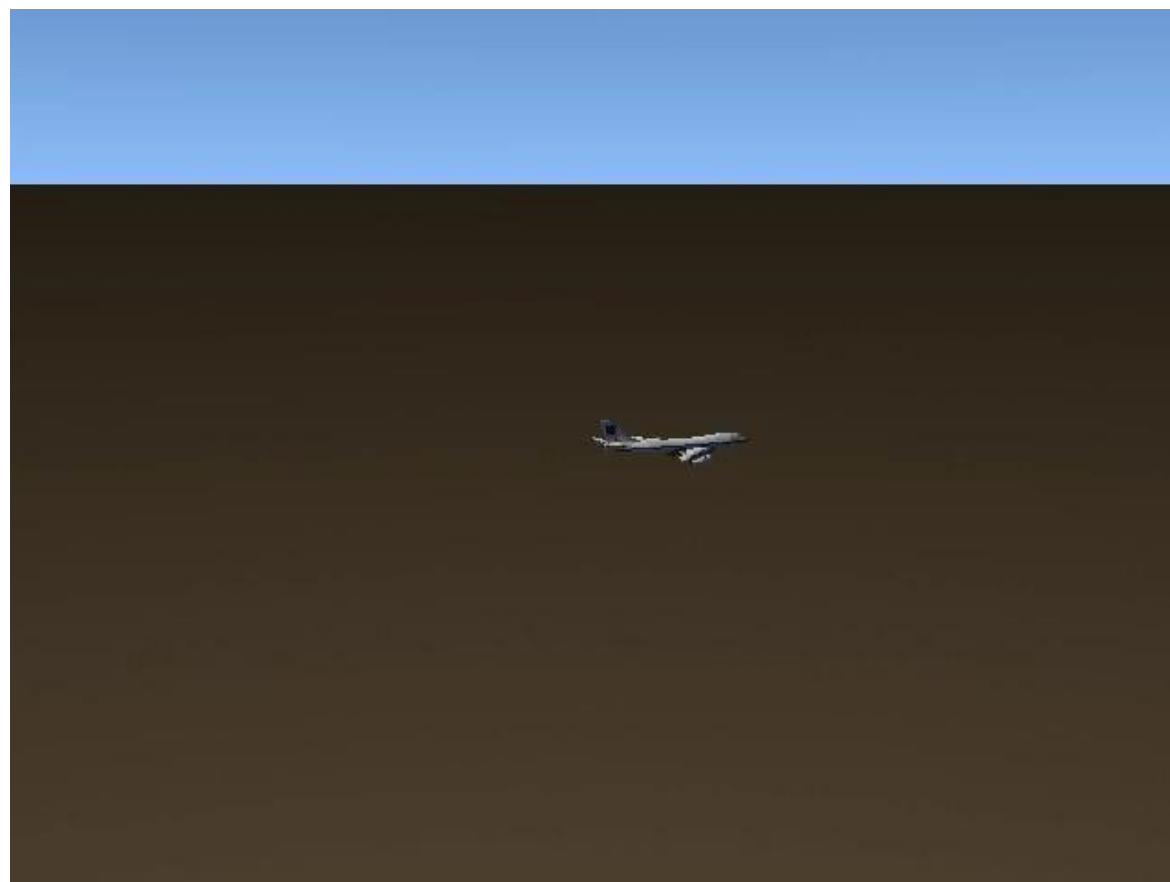
平行移動・回転・拡大縮小のアニメーション

パスアニメーション

オブジェクトのパス



パスアニメーション



補間の種類

リニア補間

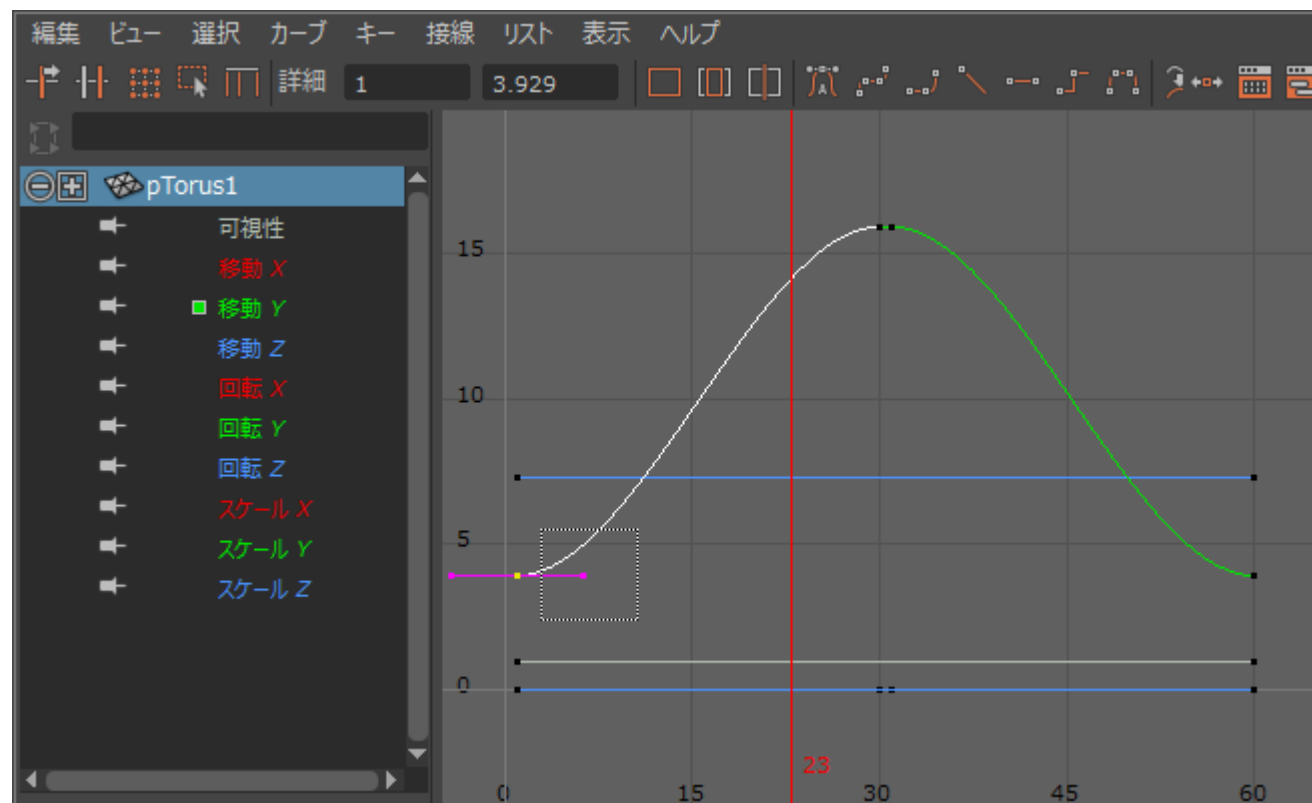


スプライン補間



グラフエディタ

- キーフレームの値や補間の結果を視覚的に表し，編集するためのツール



変形のアニメーション

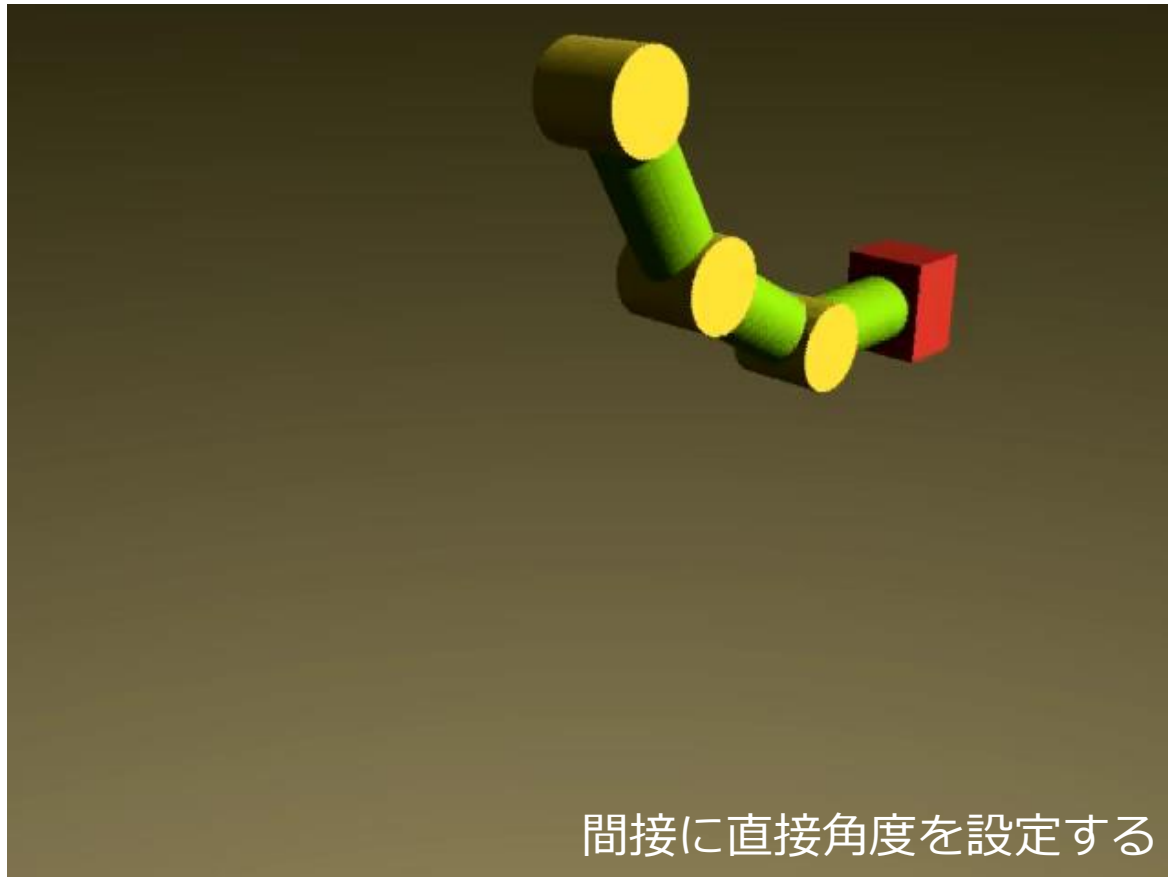
- モデルの形状を変形させてアニメーションを作る
 - スケルトン法とスキン変形
 - 3次元モーフィング
 - 関数による変形
 - デフォーメーション

多関節形状の変形

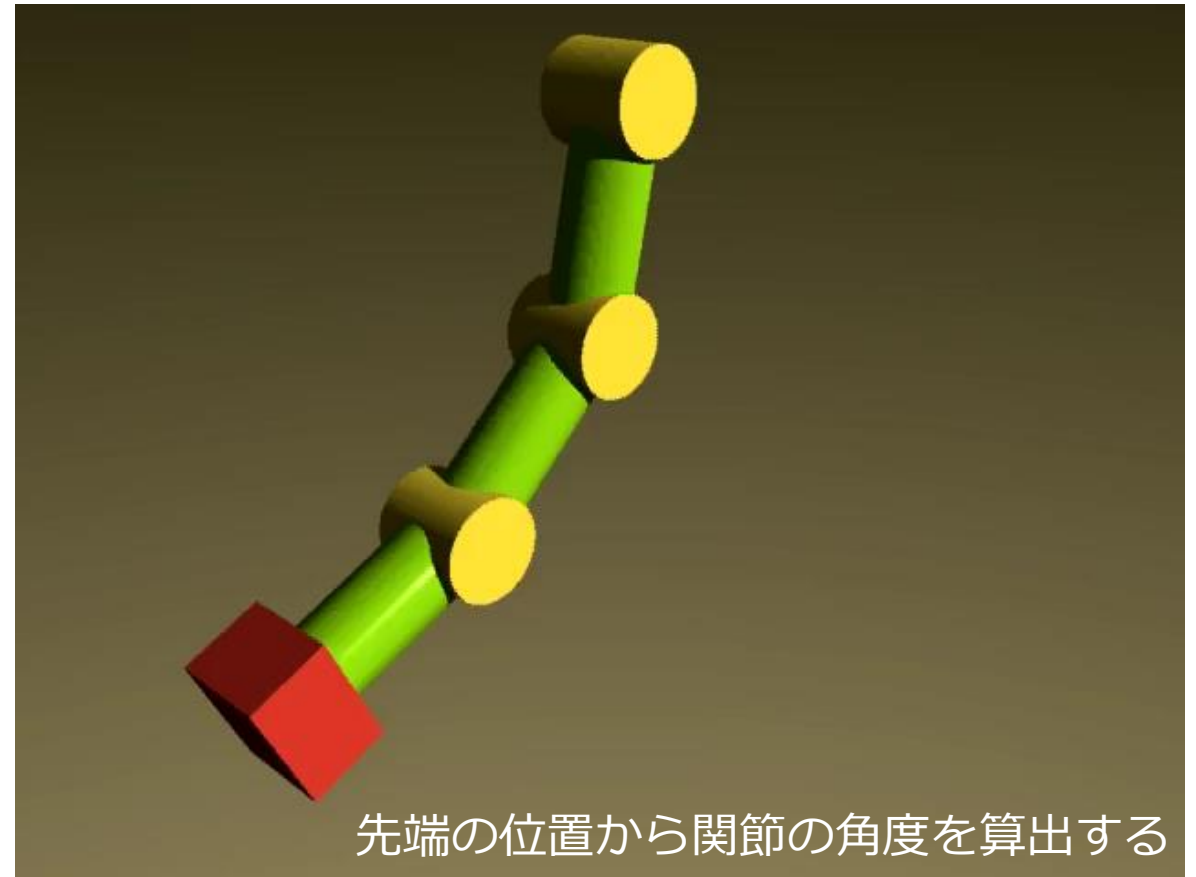
- 剛体同士を接続する関節部分の角度を変化させる
- フォワードキネマティクス (FK)
 - 各関節の角度を指定して動きを定義する
 - 末端（手先や足先など）の位置を決めるのは難しい
- インバースキネマティクス (IK)
 - 末端の位置を決めてから各関節の角度を自動的に計算する
 - 途中の関節が意図しないポーズにならないよう事前に拘束条件を設定しておく必要がある

間接の角度の設定方法

フォワードキネマティクス



インバースキネマティクス



スケルトン法とスキン変形

■ スケルトン法

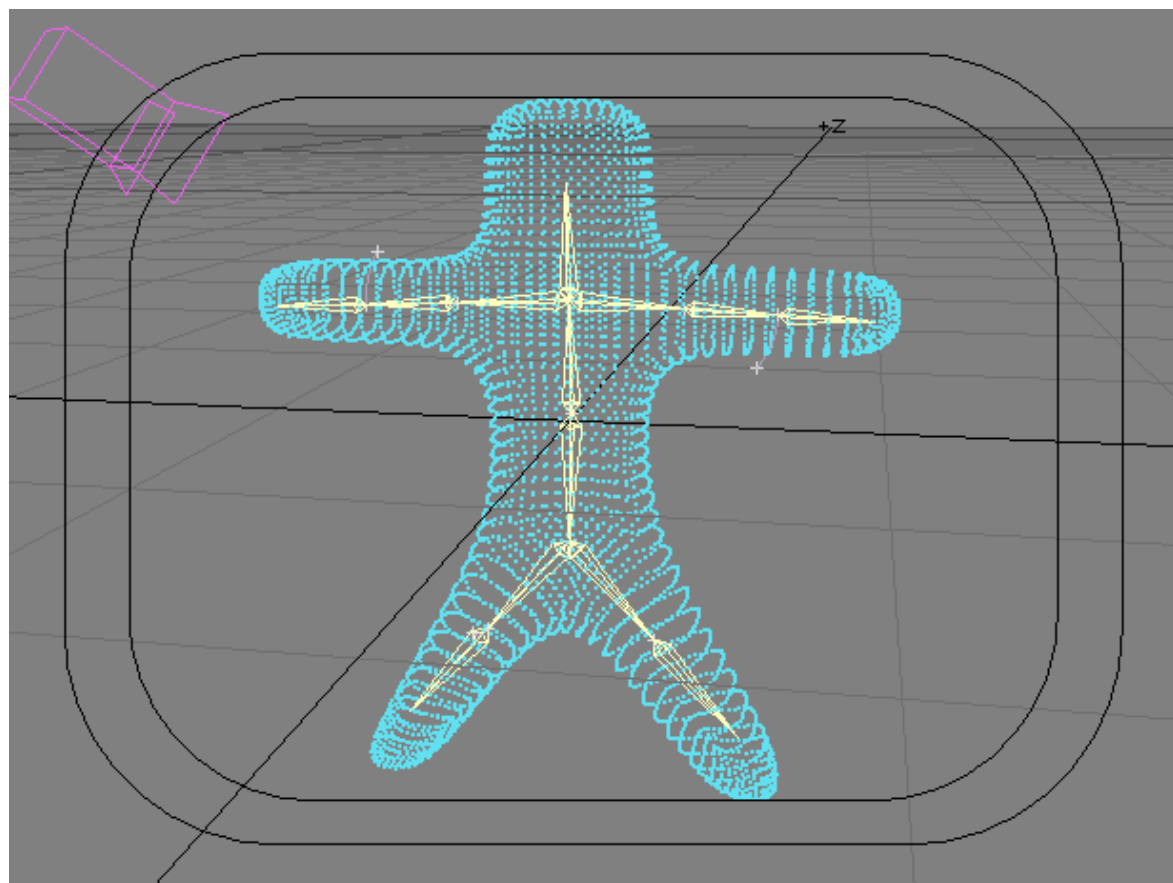
- モデルに仮想的な骨格（スケルトン, ボーン）を組み込んで, 骨格の変形によりアニメーションを行う手法

■ スキン変形

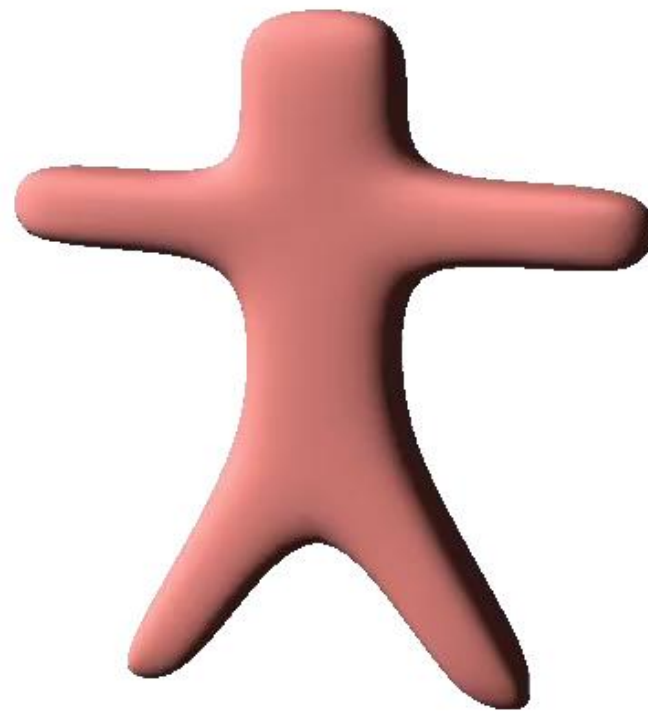
- モデルの外形を骨格の周囲にある皮膚のように変形させる手法

スケルトン法とスキン変形

ボーン



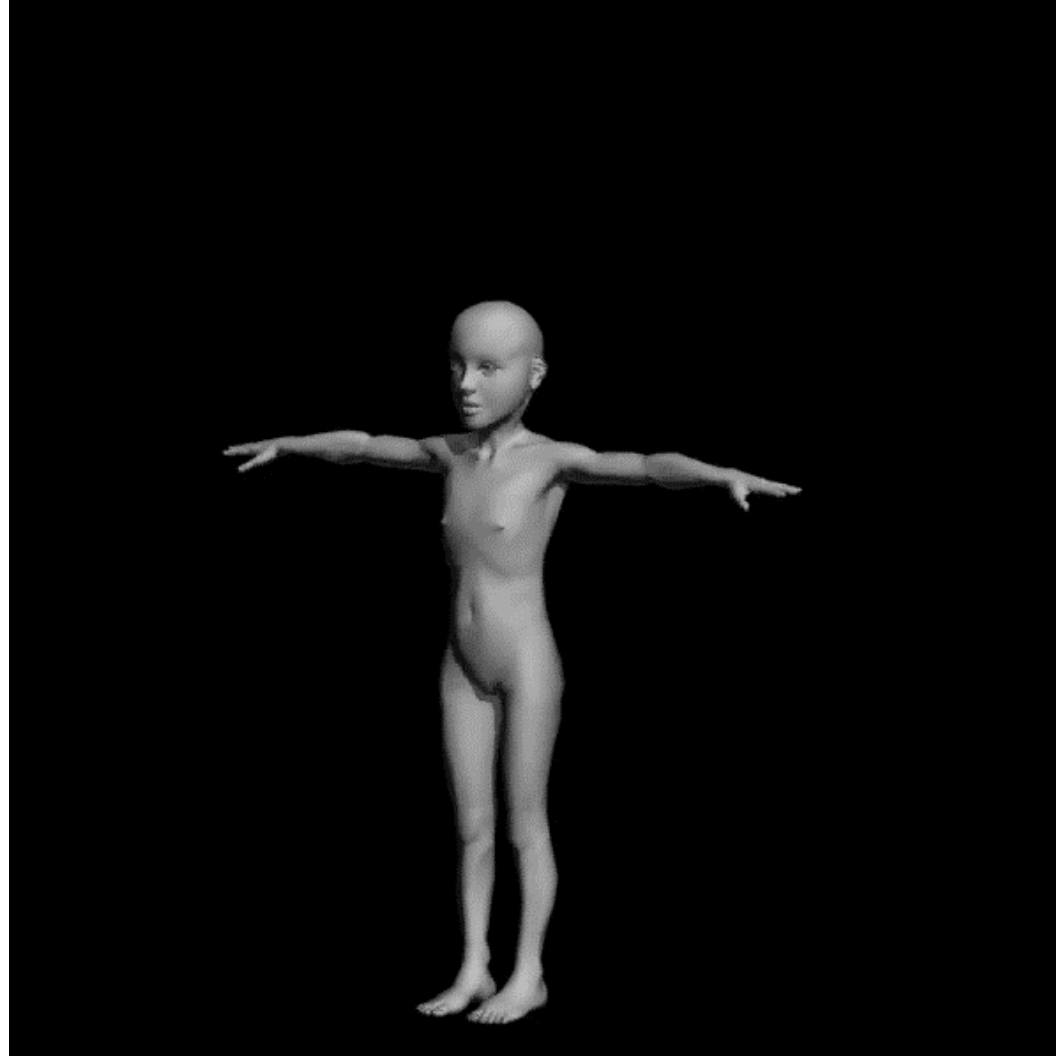
スキン変形（スキニング）



3次元モーフィング

- もとの形状と変形した形状を用意して中間の図形を補間により求める
- ベースモデル
 - もとの図形, 基本モデル
- モーフターゲット
 - 変形後の図形

3次元モーフィング



デフォーメーション

- 曲線や曲面などに沿わせて変形する
 - 曲線に沿って変形しながら移動するということも可能
- 数学関数を用いてモデルを変形する
 - 「曲げる」「ねじる」などの幾何学的な変形が主
 - 複数の変形を組み合わせて様々な変形が可能



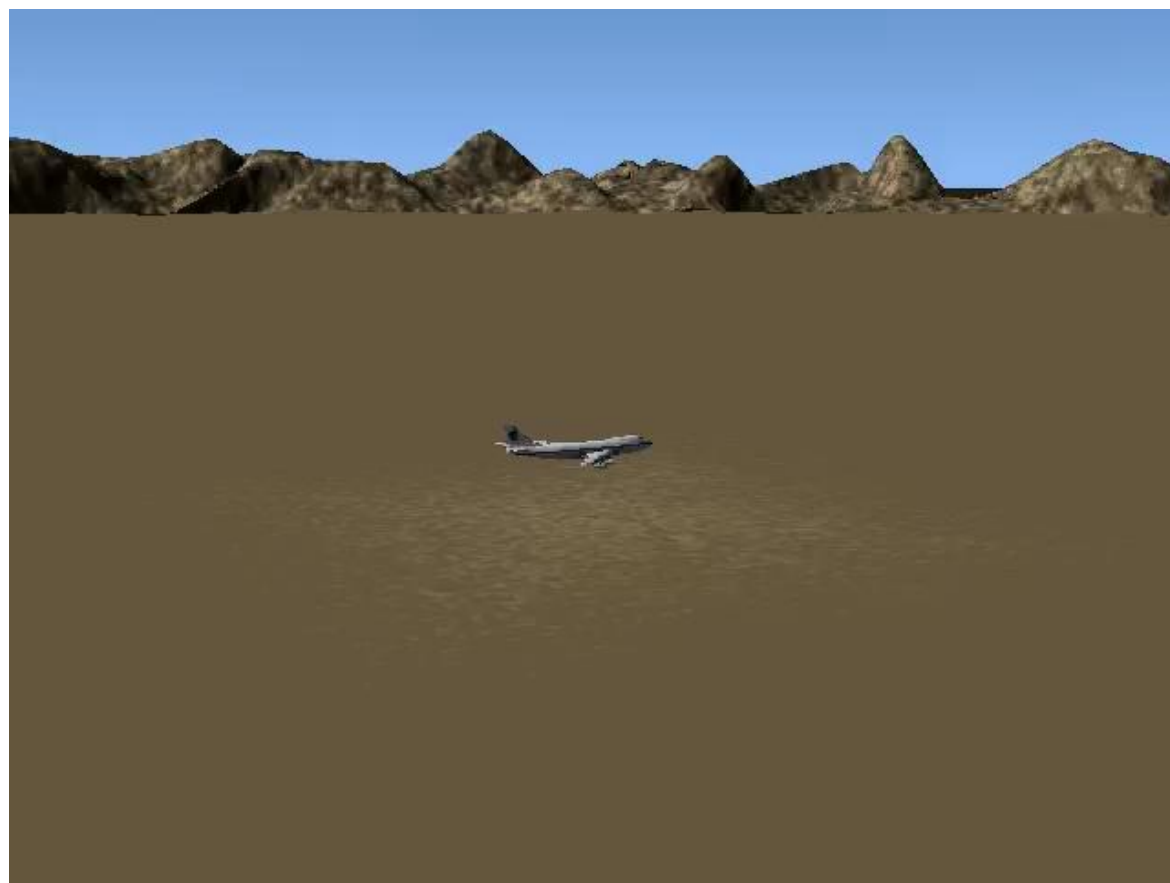
オブジェクトを「ねじる」

カメラのアニメーション

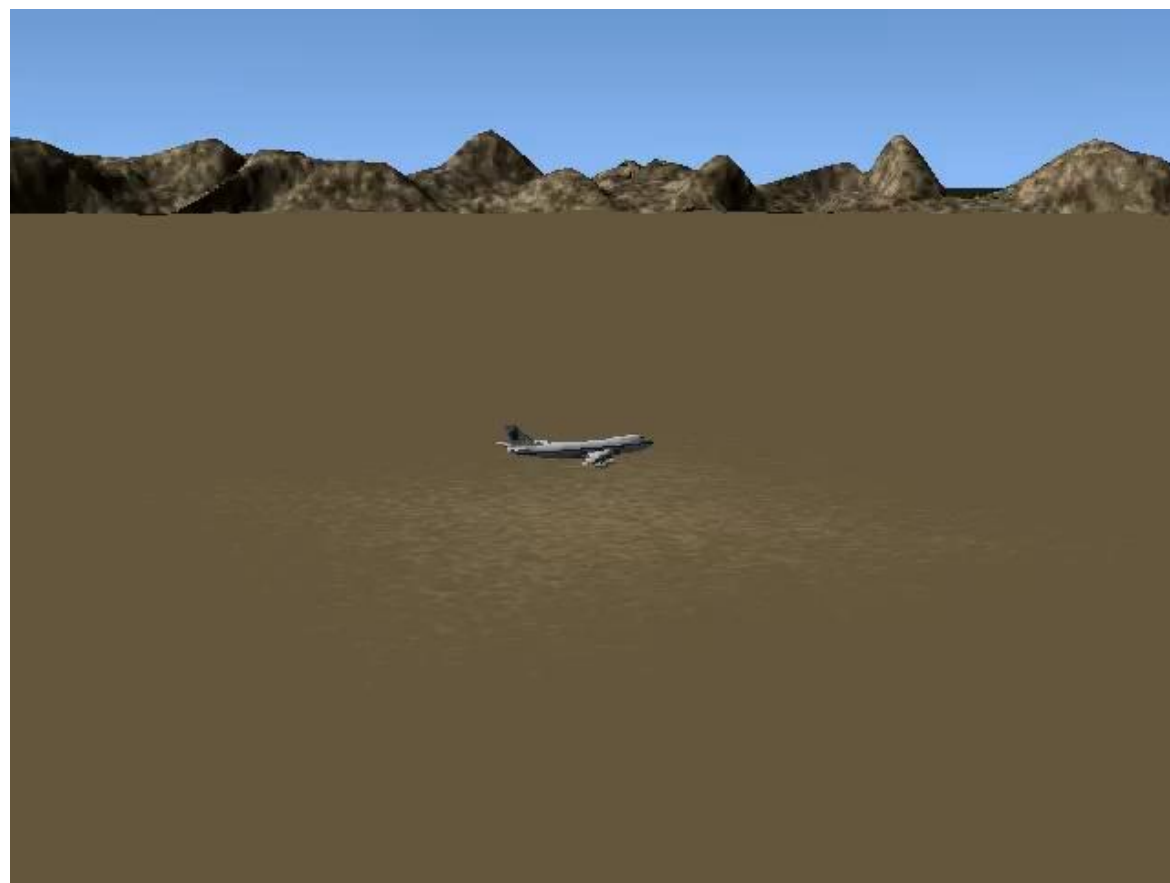
- C Gのカメラは現実のカメラよりも自由度が高い
 - 違いをよく理解しておく必要がある
- カメラの向きの決定方法
 - カメラ自体の向きを設定する
 - カメラの目標（ターゲット）位置を設定する
- カメラと階層構造
 - カメラやターゲットを階層構造と組み合わせる
- カメラとパスアニメーション
 - カメラをパス（経路）に沿って移動させる

カメラのアニメーション

カメラ位置固定・方向は目標



カメラ位置は移動・方向は目標



ライト・マテリアルのアニメーション

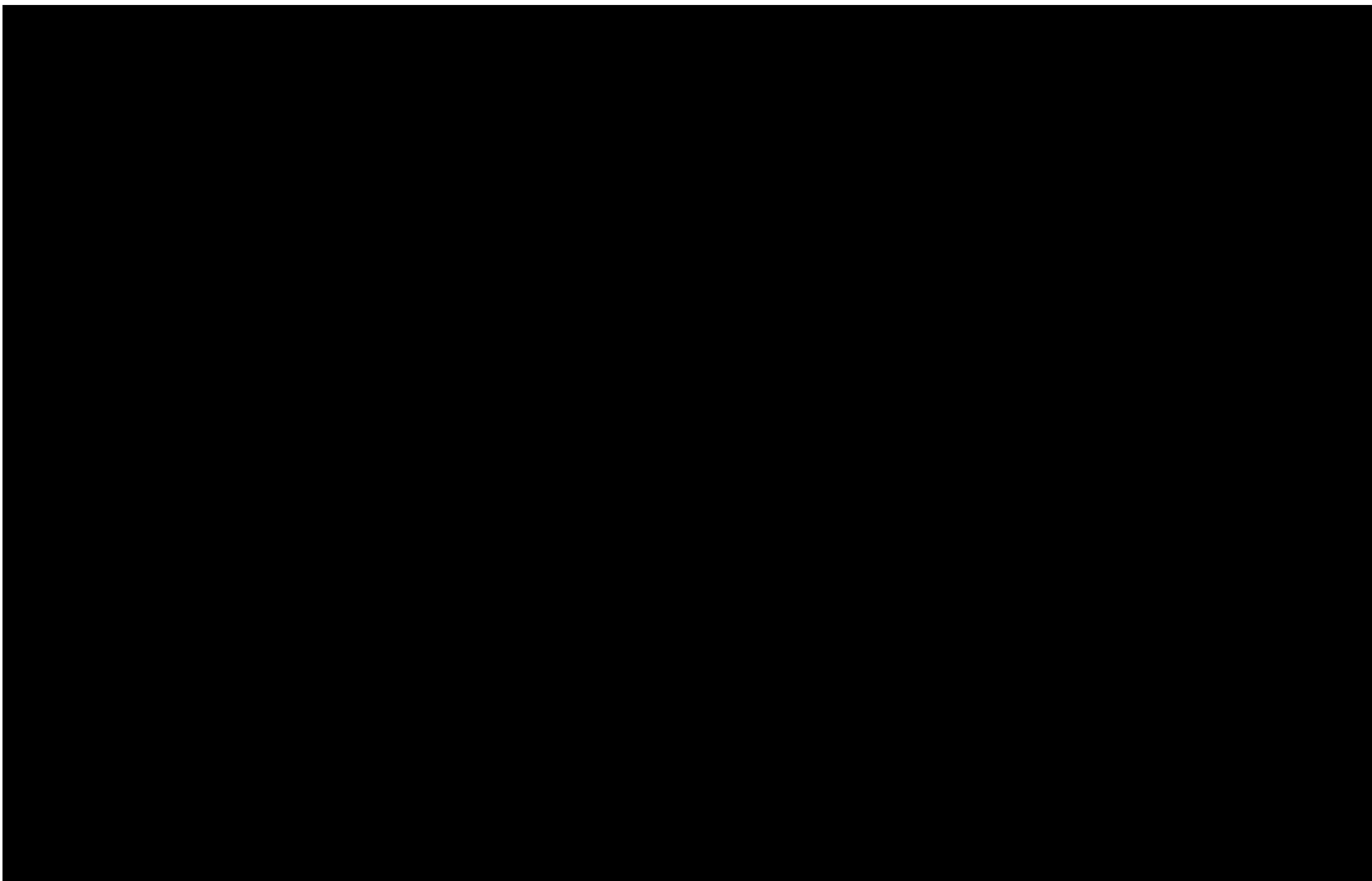
■ ライト

- 位置, 方向 (平行光線, スポットライトの場合), 広がり (スポットライトの場合), 光源の強さ, 色などを時間とともに変化させる

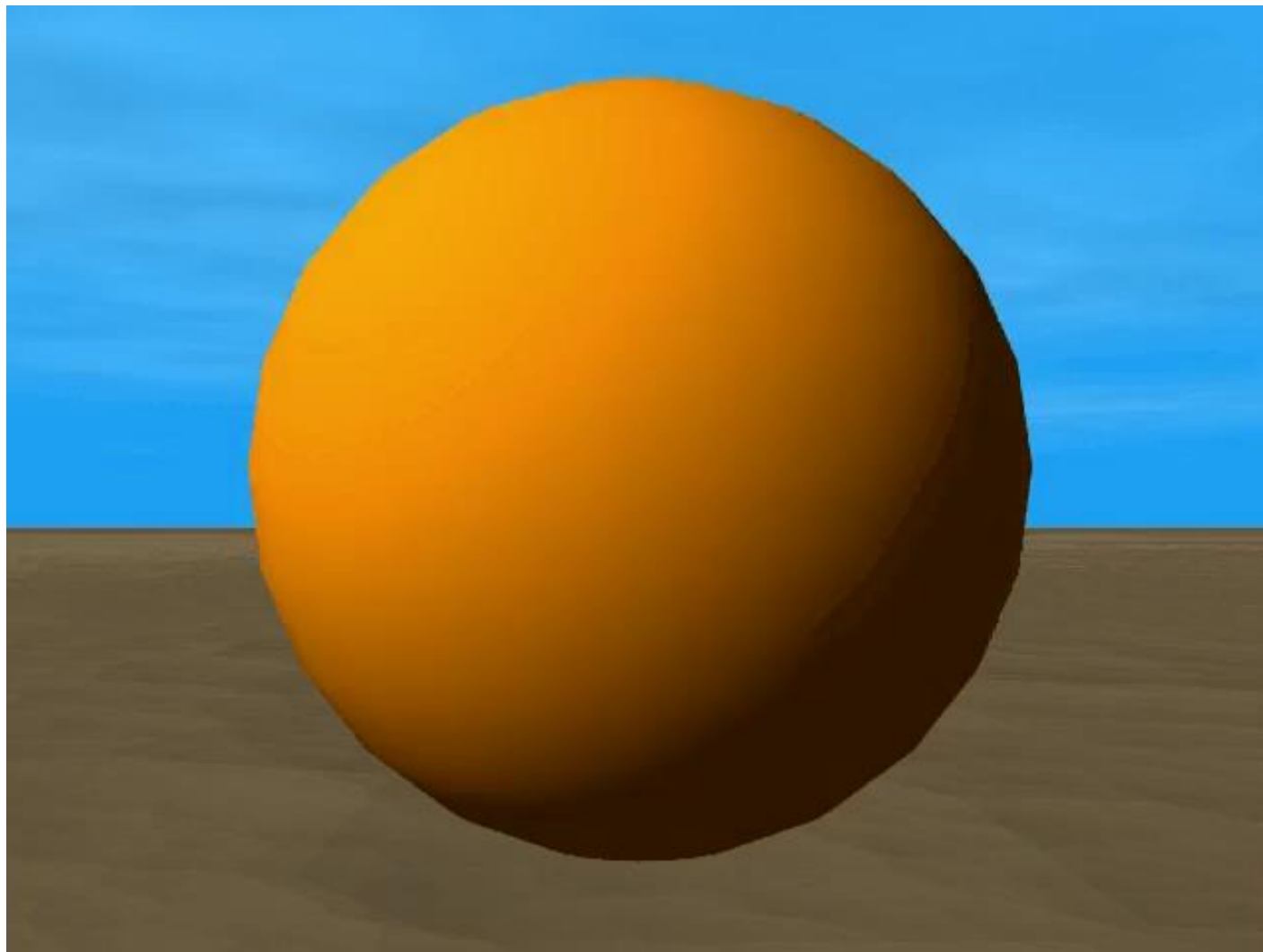
■ マテリアル

- 物体の色, 材質 (質感) を時間とともに変化させる

ライトのアニメーション



マテリアルのアニメーション



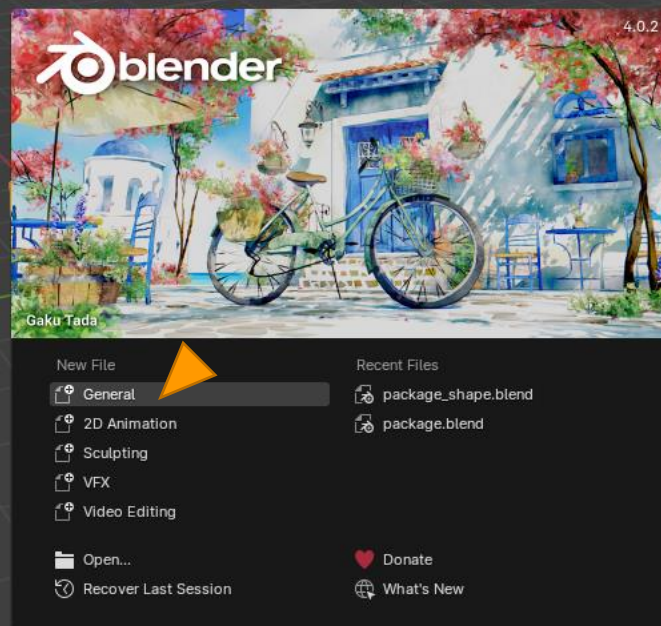
キーフレームアニメーション

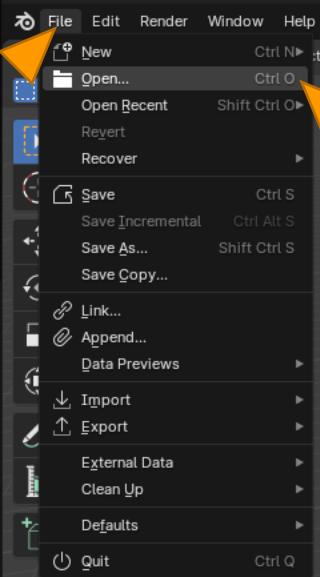


User Perspective
(1) Collection | Cube

Blender を起動する

General (全般) で

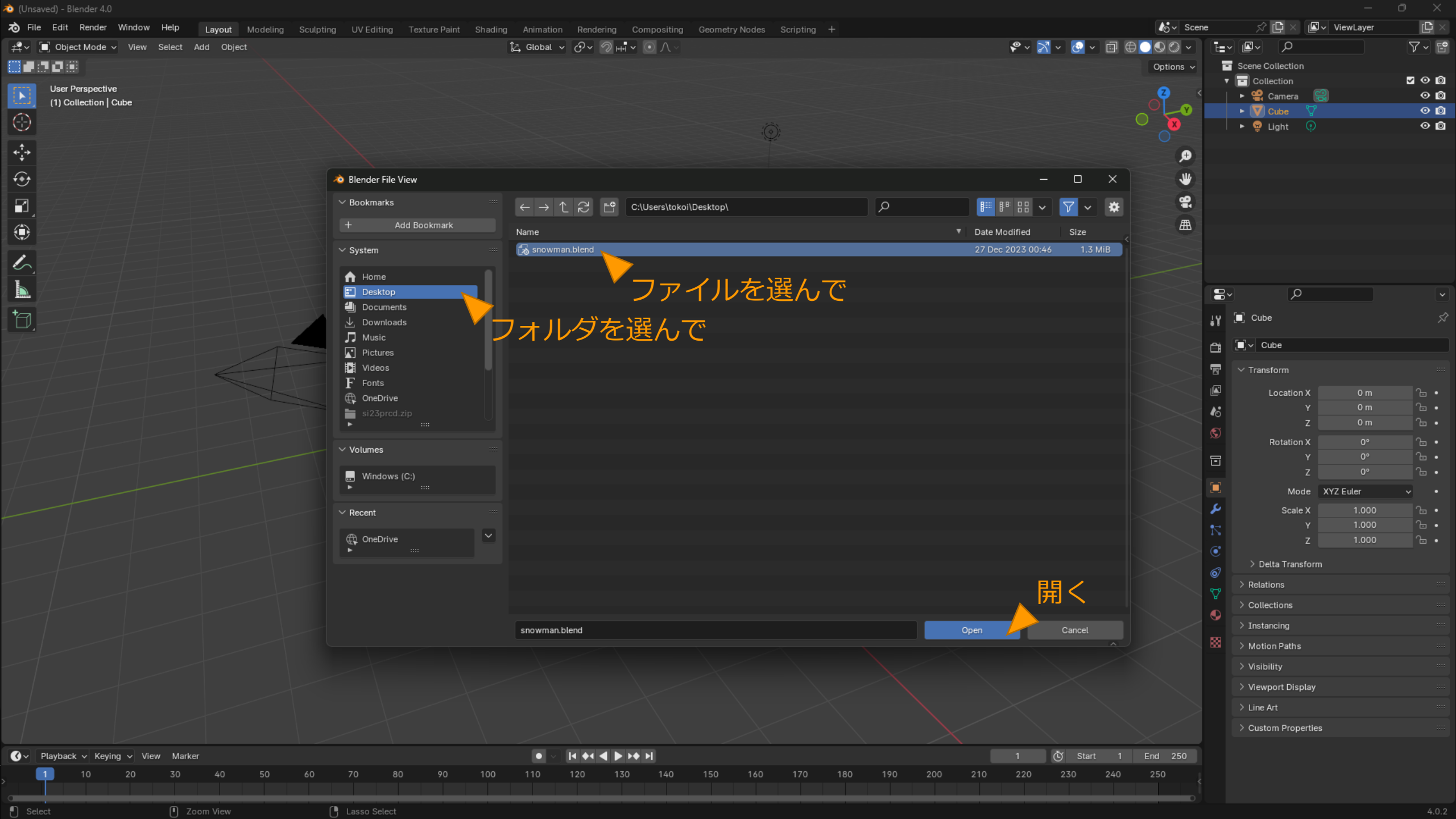




File メニュー から Open を選ぶ

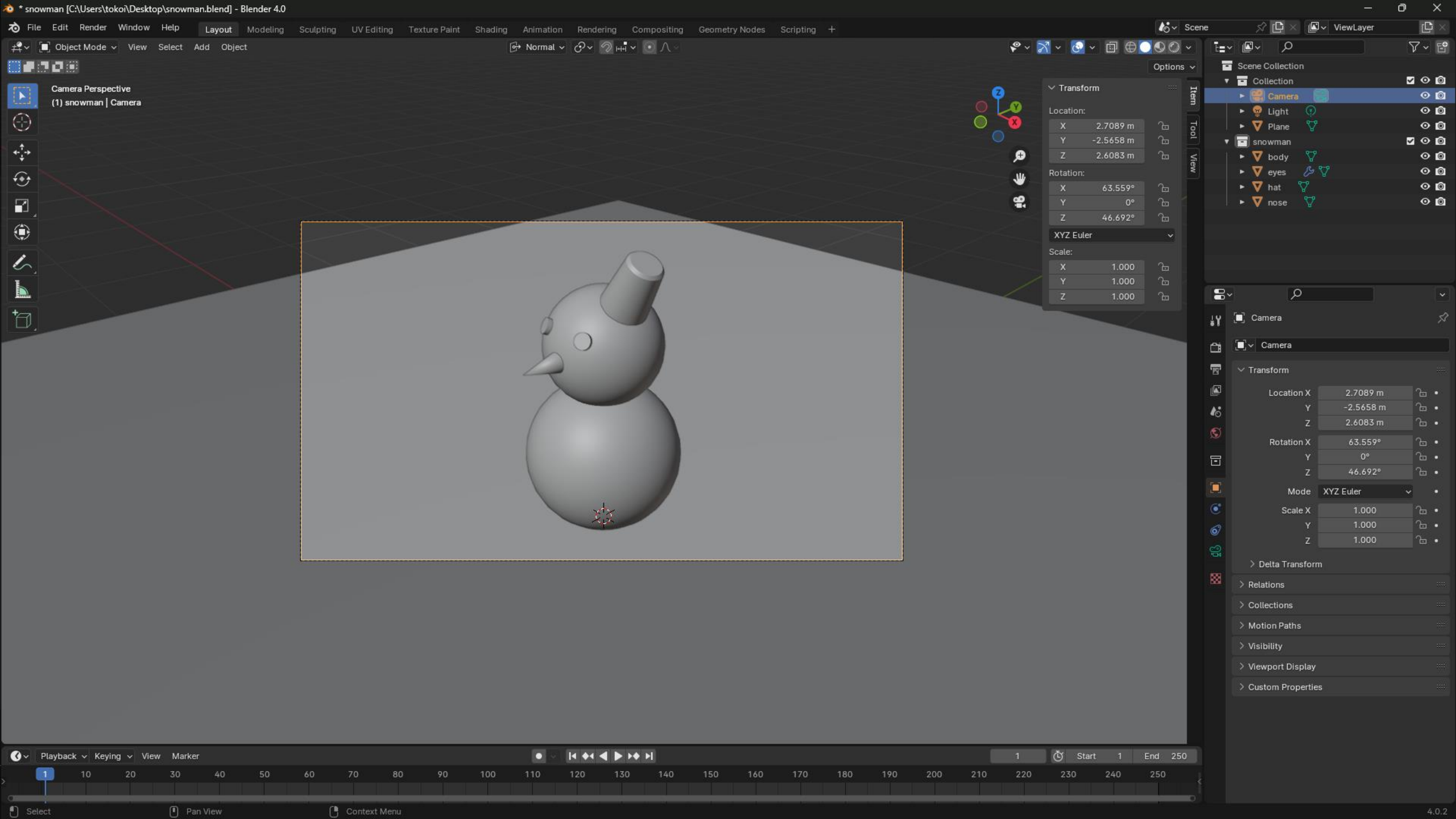
または **Ctrl + O**

以前にモデリングしたファイルを開く



ファイルを選んで
フォルダを選んで

開く



出力の設定

提出するムービーを作成するときは必ずこの設定を行ってください



アウトプットのプロパティ

Full HD だとレンダリングに時間がかかる上
ファイルサイズも大きいので

50%



Camera Perspective
(1) snowman | Camera

Transform

Location:

X	2.7089 m
Y	-2.5658 m
Z	2.6083 m

Rotation:

X	63.559°
Y	0°
Z	46.692°

XYZ Euler

Scale:

X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Scene Collection

Collection

Camera			
Light			
Plane			
snowman			
body			
eyes			
hat			
nose			

Scene

Format

Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000
Render Region	
Crop to Render Region	

Frame Data 20 fps

Frame Start	1
End	150
Step	1

Time Stretching

Stereoscopy

Output

/tmp\

Saving	☒ File Extensions
	☐ Cache Result

File Format PNG

Color BW RGB RGBA

Color Depth 8 16

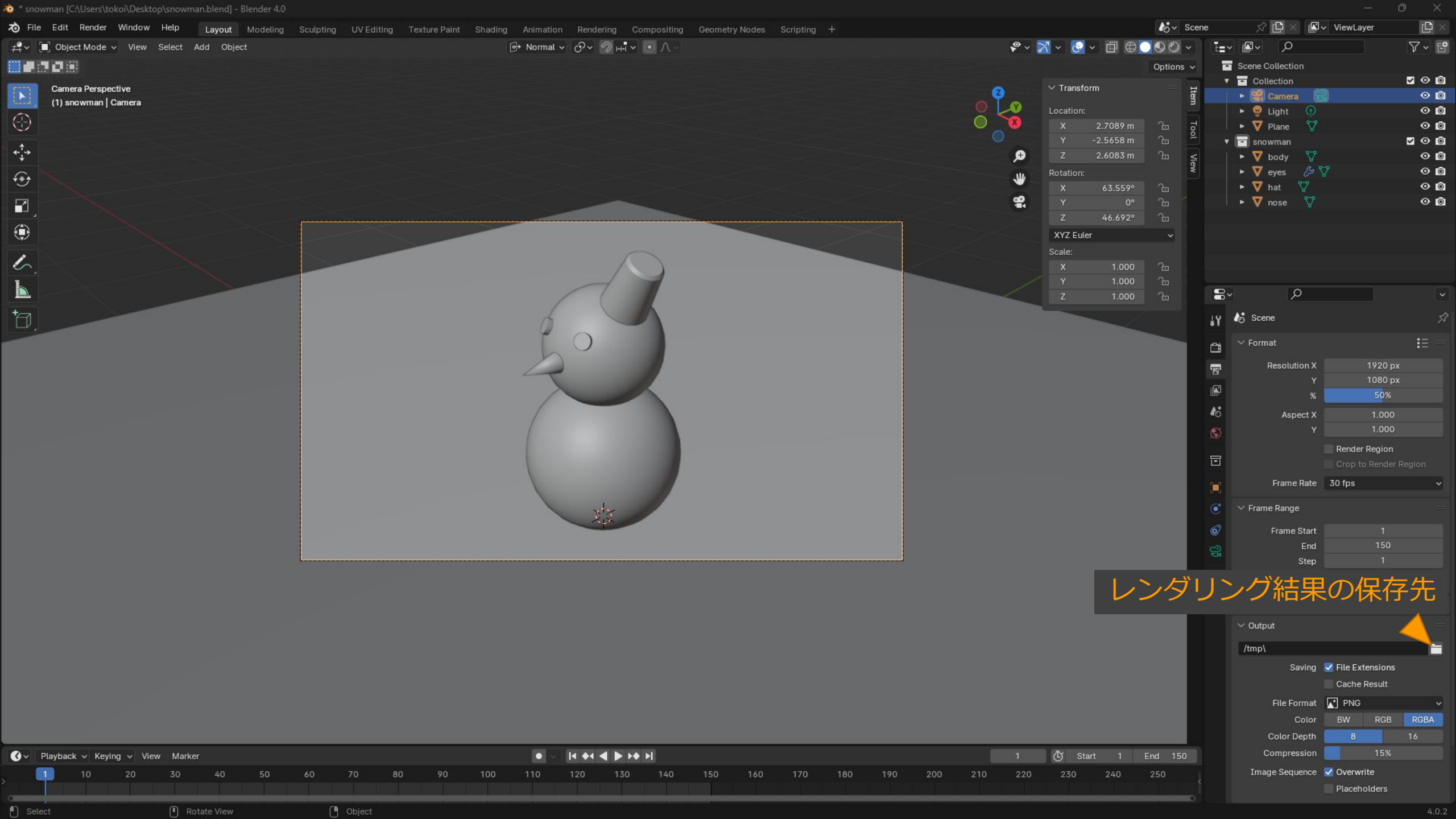
Compression 15%

Image Sequence ☒ Overwrite☐ Placeholders

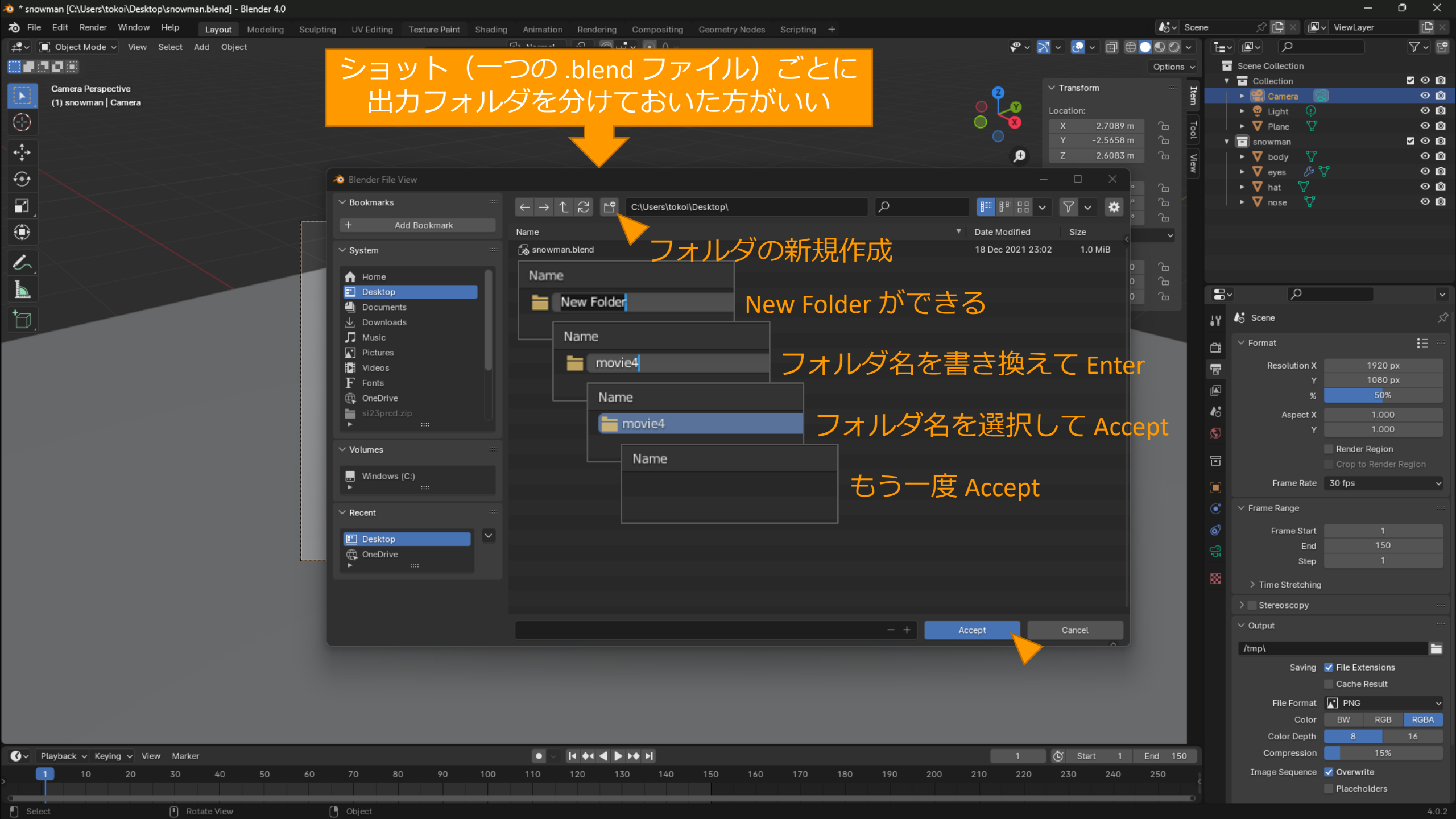
絵コンテで設定したショットの秒数×30

Playback Keying View Marker

1 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250



レンダリング結果の保存先





動画像用のファイルフォーマットについて

- 動画像は原則として**静止画の連番ファイル**で出力する
 - レンダリング中にソフトが落ちても済んだフレームは残る
 - 非圧縮か可逆圧縮のフォーマット（Targa, PNG 等）を使う
 - ムービー編集ソフトで結合して使う
- しかし非常に大量のファイルが作られる
 - そのためディスク容量を食う
 - 結合したファイルを作るのにひと手間かかる
- この演習は動画像用ファイルフォーマットで出力する

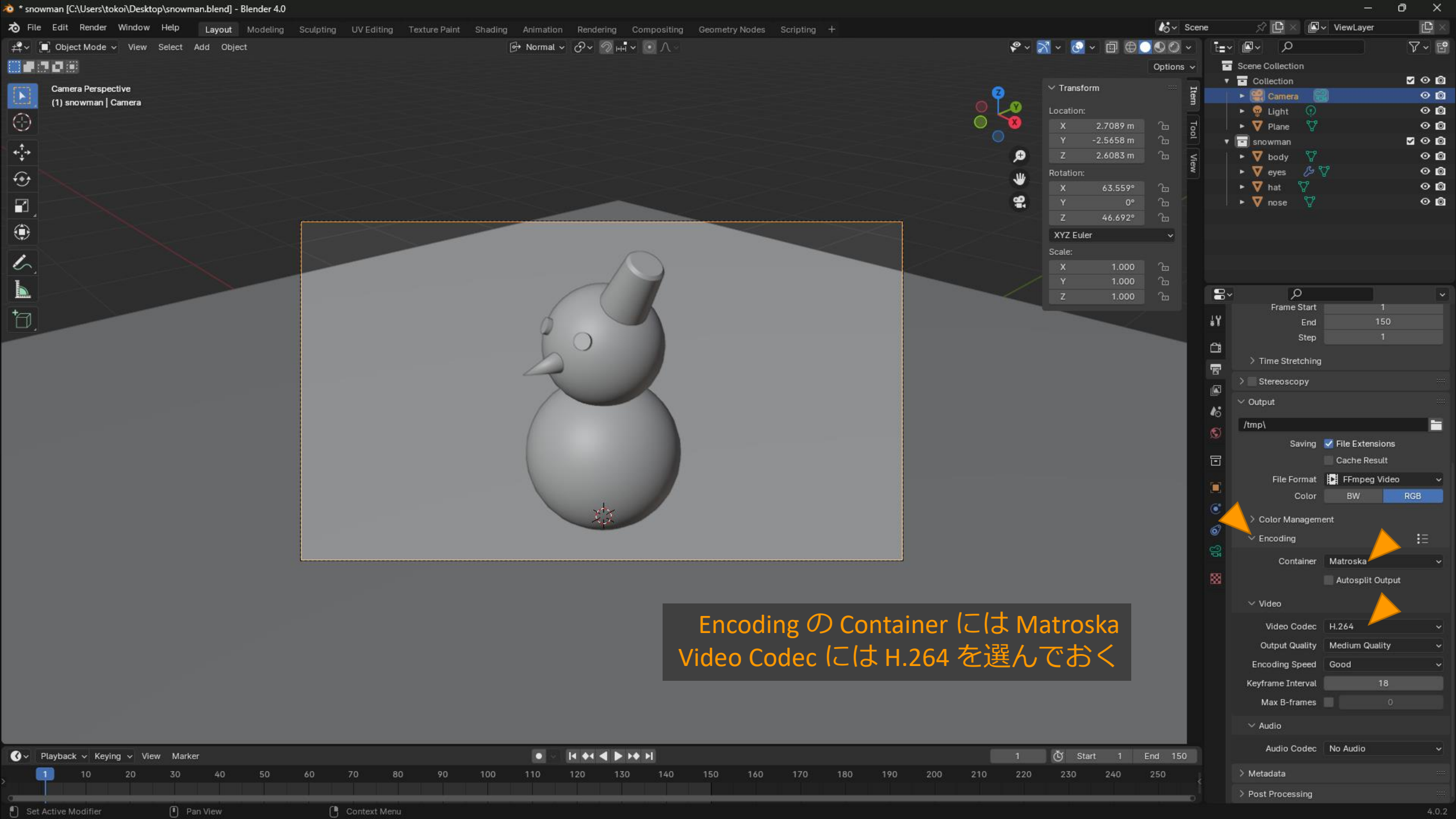
AVI と FFmpeg video

■ AVI (Audio Video Interleave)

- Microsoft 社が開発した動画像ファイルのコンテナの一つ
- AVI Raw (非圧縮) AVI JPEG (フレームごとに JPEG 圧縮)
- フレームごとに独立しているので編集する際に有利
- 非圧縮なら画質の劣化はないがサイズがとても大きい

■ FFmpeg video

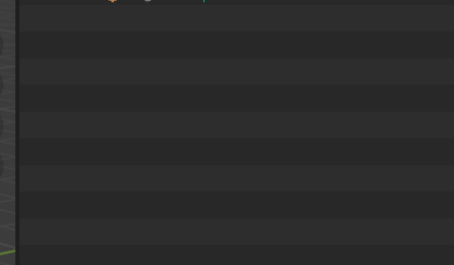
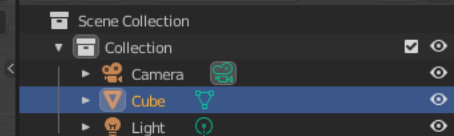
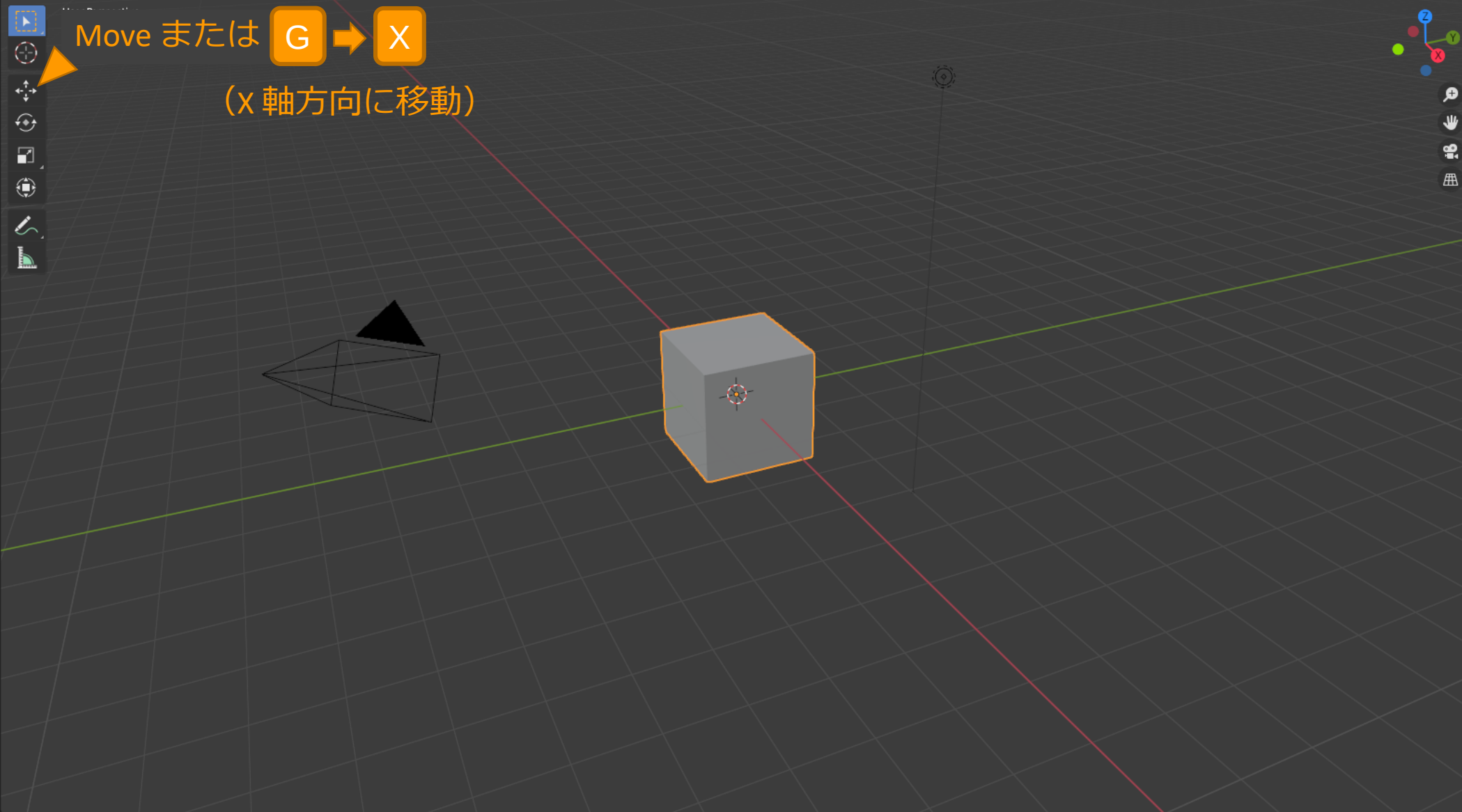
- FFmpeg は動画像・音声処理オープンソースソフトウェア
- FFmpeg を介して多様なコンテナ・コーデックに対応可能

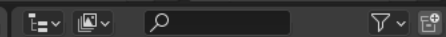


コンテナとコーデック

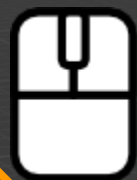
- 動画像ファイルには映像や音声の複数のデータが入る
- コンテナ (Container)
 - 動画像ファイルの書式 (フォーマット)
 - MP4 (.mp4), AVI (.avi), Matroska (.mkv), QuickTime (.mov), Vorbis (.ogg), WebM (.webm) 等
 - Matroska (マトリョーシカ) や WebM はオープンソースの書式
- コーデック (Codec)
 - 動画像ファイルの中の動画像データの符号化 (圧縮) 方式
 - MPEG-4 (MPEG-4), H.264 (MPEG-4 AVC), H.265, DivX, Theora, VP9 等

Move または **G** → **X**
(x 軸方向に移動)

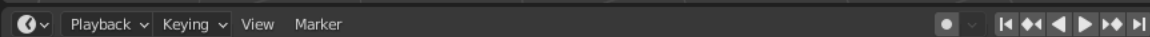
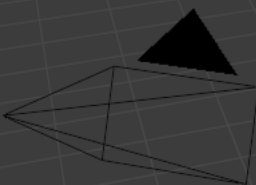
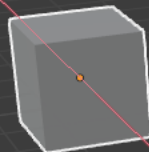




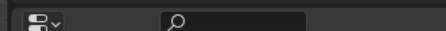
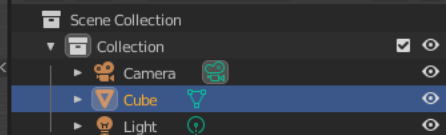
D: -11.54 m (11.54 m) along global X

User Perspective
(1) Collection | Cube

X 軸方向に移動する



1 Start 1 End 150



Scene

Dimensions

Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000

☐ Render Region
☐ Crop to Render Region

Frame Start	1
End	150
Step	1
Frame Rate	24 fps

Time Remapping

☐ Stereoscopy

Output

D:\Users\tokoi\Desktop\cgpe\movie4\

Saving ☒ File Extensions
☐ Cache Result

File Format FFmpeg video
Color BW RGB

Encoding

Container Matroska
☐ Autosplit Output

Video

Video Codec H.264

Object Mode View Select Add Object

User Perspective (1) Collection | Cube

Object Menu:

- Transform
 - Set Origin
 - Mirror
 - Clear
 - Apply (Ctrl A)
 - Snap
- Duplicate Objects (Shift D)
- Duplicate Linked (Alt D)
- Join (Ctrl J)
- Copy Objects (Ctrl C)
- Paste Objects (Ctrl V)
- Parent
 - Collection
 - Relations
 - Constraints
 - Track
 - Make Links (Ctrl L)
- Shade Smooth
- Shade Flat
- Animation
 - Insert Keyframe... (Alt I)
 - Delete Keyframes...
 - Clear Keyframes...
 - Change Keying Set... (Shift Ctrl Alt I)
 - Bake Action...
 - Bake Mesh to Grease Pencil...
- Rigid Body
- Quick Effects
- Convert To
- Trace Image to Grease Pencil
- Show/Hide
- Clean Up
- Delete (X)
- Delete Global (Shift X)

Annotations:

- 左クリックで位置を確定 (確定前の取り消しは右クリックか Esc)
- Object メニューの Animation から Insert Keyframe を選択する (または I)

Scene Collection:

- Collection
 - Camera
 - Cube
 - Light

Scene Dimensions:

Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000
Render Region	☐
Crop to Render Region	☐
Frame Start	1
End	150
Step	1
Frame Rate	24 fps

Time Remapping

Stereoscopy

Output

D:\Users\tokoi\Desktop\cgpe\movie4\

Saving ☒ File Extensions

Cache Result ☐

File Format FFmpeg video

Color BW RGB

Encoding

Container Matroska

Autosplit Output ☐

Video

Video Codec H.264

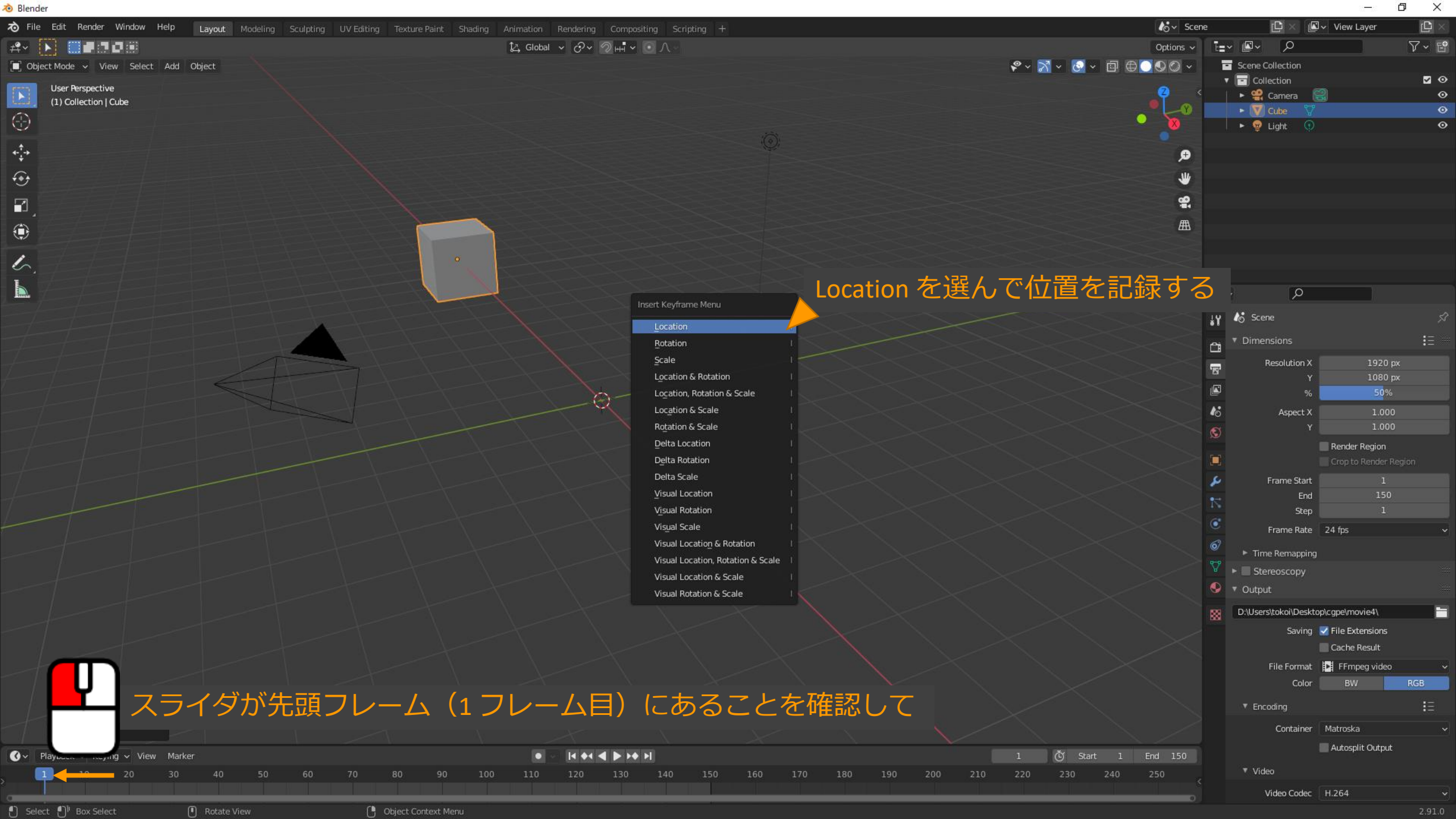
Playback Keying View Marker

1 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250

1 Start 1 End 150

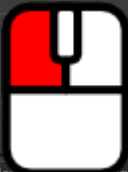
Select Box Select Rotate View Object Context Menu

2.91.0



Location を選んで位置を記録する

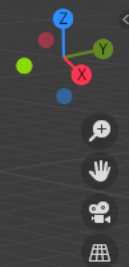
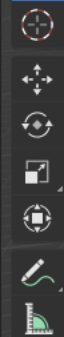
スライダが先頭フレーム（1フレーム目）にあることを確認して



Object Mode View Select Add Object

Global

Options

User Perspective
(1) Collection | Cube

Scene Collection

- Collection
 - Camera
 - Cube
 - Light

Scene

Dimensions

Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000

☐ Render Region

☐ Crop to Render Region

Frame Start	1
End	150
Step	1

Frame Rate 24 fps

Time Remapping

Stereoscopy

Output

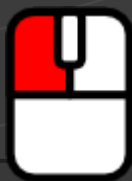
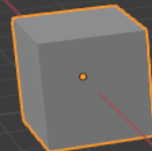
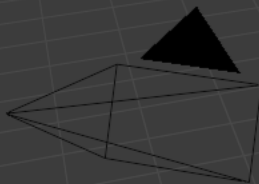
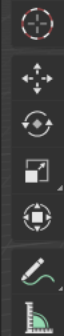
D:\Users\tokoi\Desktop\cgpe\movie4\

キーフレームになる

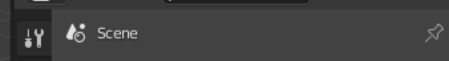
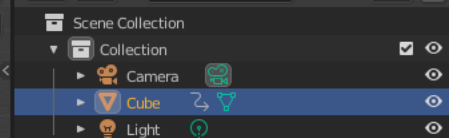
Playback View Marker

1 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250

Select Box Select Rotate View Object Context Menu

User Perspective
(60) Collection | Cube

60 フレーム目に移動



Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000

☐ Render Region
☐ Crop to Render Region

Frame Start	1
End	150
Step	1
Frame Rate	24 fps

Time Remapping

☐ Stereoscopy

Output

D:\Users\tokoi\Desktop\cgpe\movie4\

Saving ☒ File Extensions
☐ Cache Result

File Format FFmpeg video
Color BW RGB

Encoding

Container Matroska
☐ Autosplit Output

Video

Video Codec H.264

D: 14.17 m (14.17 m) along global X

Move または **G** → **X**
(x 軸方向に移動)



x 軸方向に移動する

Scene Collection

- Collection
 - Camera
 - Cube
 - Light

Scene

Dimensions

Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000

☐ Render Region

☐ Crop to Render Region

Frame Start: 1

End: 150

Step: 1

Frame Rate: 24 fps

Time Remapping

Stereoscopy

Output

D:\Users\tokoi\Desktop\cgpe\movie4\

Saving ☒ File Extensions

☐ Cache Result

File Format: FFmpeg video

Color: BW RGB

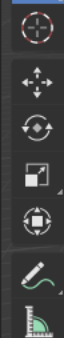
Encoding

Container: Matroska

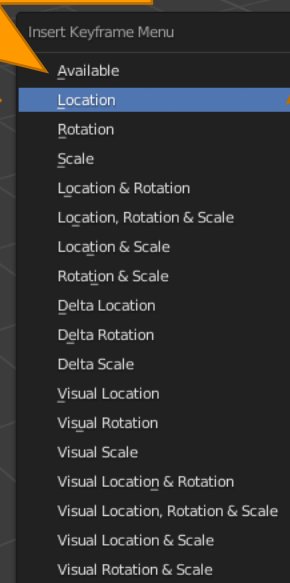
☐ Autosplit Output

Video

Video Codec: H.264

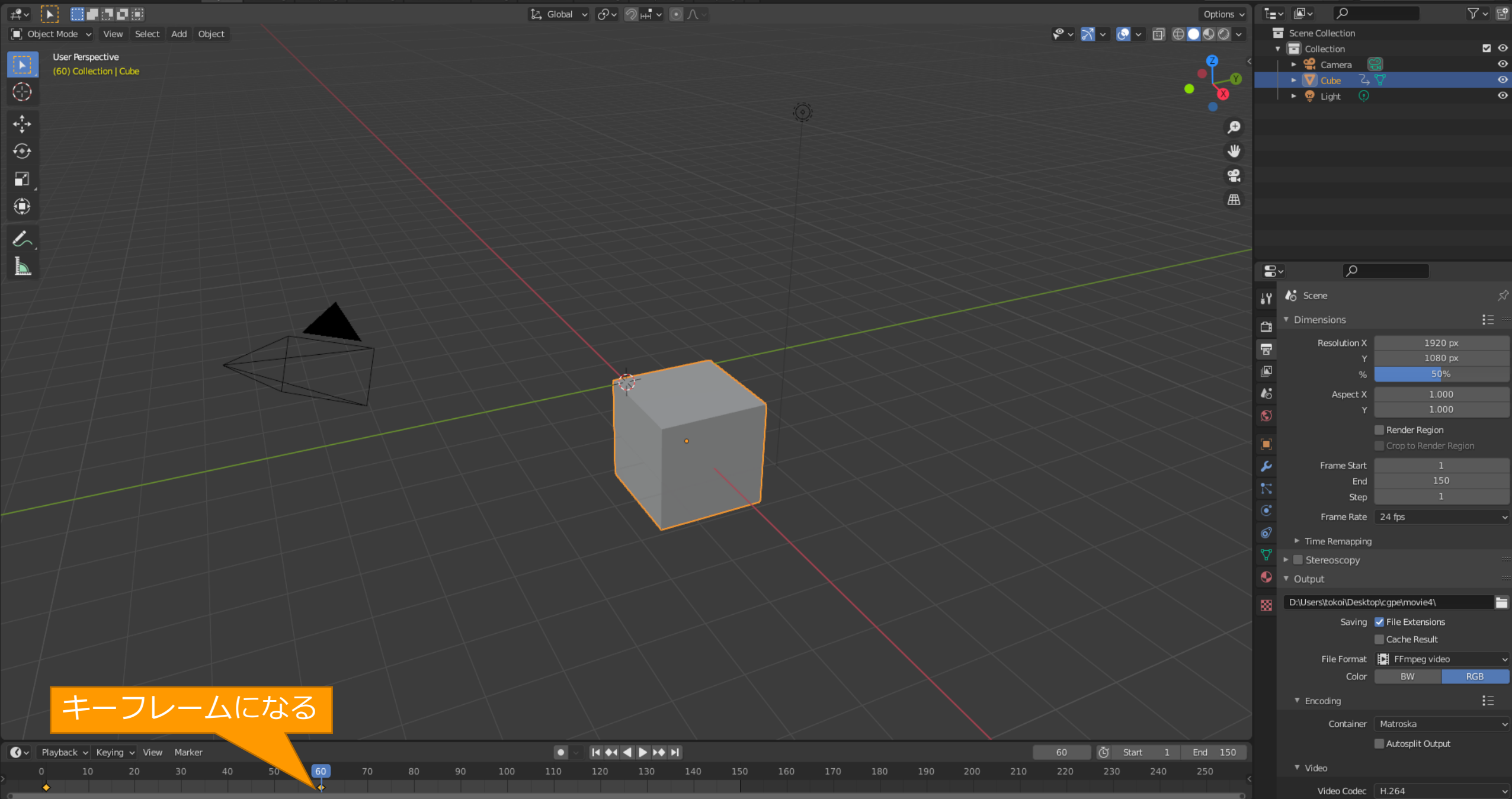


最初にキーを打った時に Cube の Location
のタイムラインが作成されたので 2 回目
以降は Available (打てるタイムラインに
キーを打つ) が現れる



位置を記録する

左クリックで位置を確定



Object Mode View Select Add Object

User Perspective
(34) Collection | Cube

Options

Scene Collection

- Collection
 - Camera
 - Cube
 - Light

Scene

Dimensions

Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000

☐ Render Region
☐ Crop to Render Region

Frame Start: 1
End: 150
Step: 1

Frame Rate: 24 fps

Time Remapping

Stereoscopy

Output

D:\Users\tokoi\Desktop\cgpe\movie4\

Saving ☒ File Extensions
☐ Cache Result

File Format: FFmpeg video
Color: BW RGB

Encoding

Container: Matroska
☐ Autosplit Output

Video

Video Codec: H.264

2.91.0

ドラッグすると動く

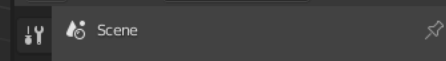
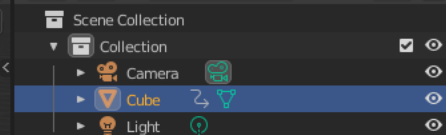
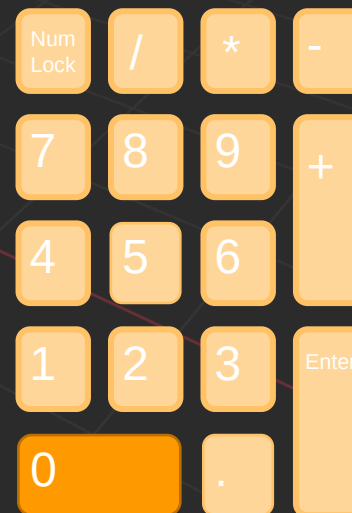
Camera Perspective
(34) Collection | Cube

カメラからの見た目



ドラッグしてみる

テンキーの「0」



Resolution X	1920 px
Y	1080 px
%	50%
Aspect X	1.000
Y	1.000

☐ Render Region
☐ Crop to Render Region

Frame Start	1
End	150
Step	1

Frame Rate 24 fps

Time Remapping

☐ Stereoscopy

Output

D:\Users\tokoi\Desktop\cgpe\movie4\

Saving ☒ File Extensions
☐ Cache Result

File Format FFmpeg video

Color BW RGB

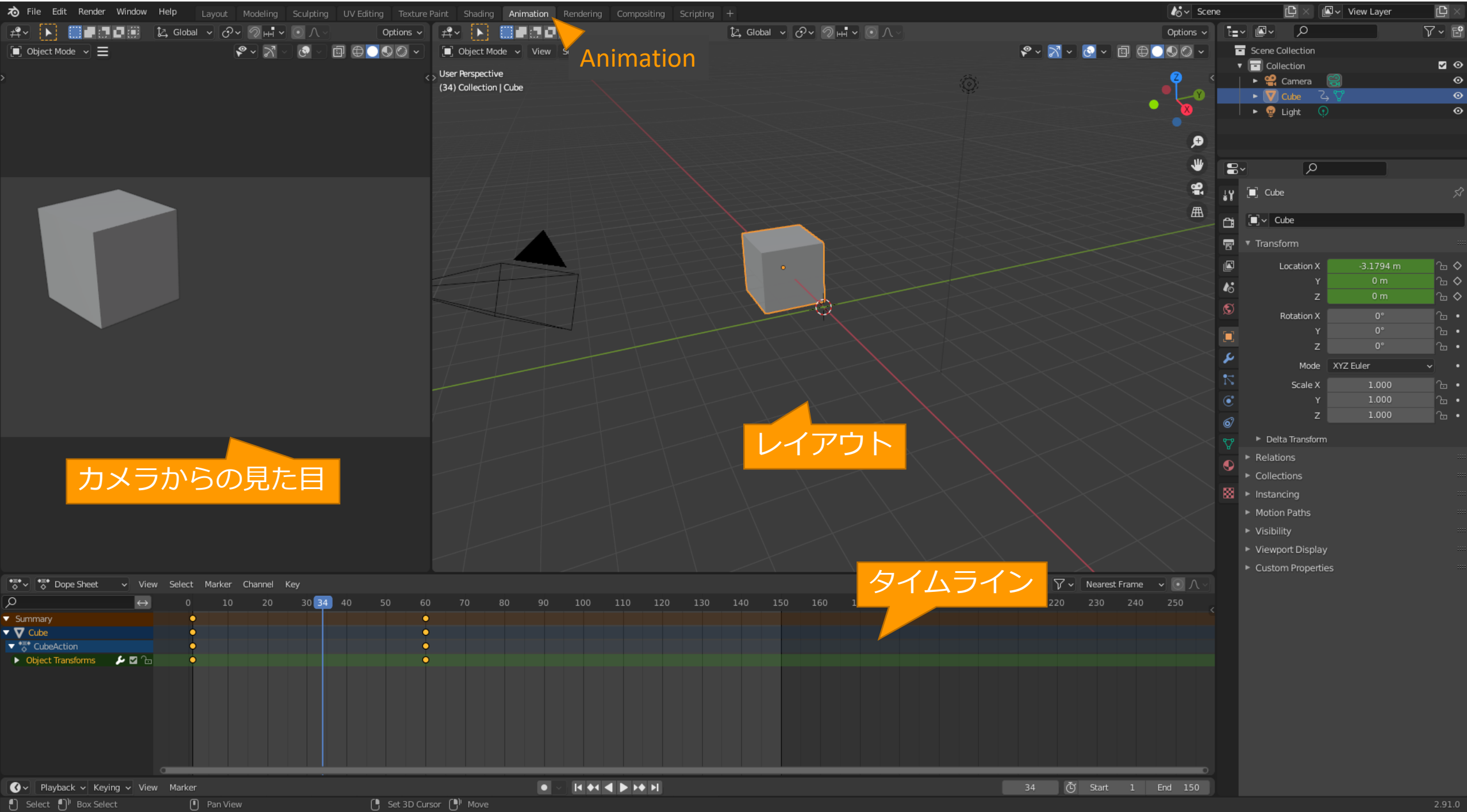
Encoding

Container Matroska

☐ Autosplit Output

Video

Video Codec H.264



Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene with a cube and a timeline.

Top Panel: Object Mode, View, Select, Add, Object. View: User Perspective (34) Collection | Cube.

Left Panel: Object Mode, View, Select, Add, Object. View: User Perspective (34) Collection | Cube.

Right Panel: Scene Collection, Collection, Camera, Cube, Light. Transform properties for Cube: Location X: -3.1794 m, Y: 0 m, Z: 0 m; Rotation X: 0°, Y: 0°, Z: 0°; Mode: XYZ Euler; Scale X: 1.000, Y: 1.000, Z: 1.000.

Bottom Panel: Dope Sheet, View, Select, Marker, Channel, Key. Timeline showing frame 34. A yellow bar indicates a constant value for the selected property.

Annotations:

- ▼をクリックして開く (Click the ▼ to open)
- 変化のないところは黄色 (Yellow indicates no change)

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene and the Animation timeline.

3D Viewport: Displays a cube in a perspective view. The cube is highlighted with an orange outline. The viewport shows a grid and axes (X, Y, Z).

Properties Panel: Shows the properties of the selected object (Cube). The Transform section is expanded, displaying the following values:

Property	Value
Location X	-4.6182 m
Y	0 m
Z	0 m
Rotation X	0°
Y	0°
Z	0°
Mode	XYZ Euler
Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Animation Timeline: Shows the timeline for the selected object (Cube). The timeline is set to frame 30. The timeline includes a summary of the animation and a list of keyframes for the selected object's properties.

Keyframes: The timeline shows keyframes for the selected object's properties. The keyframes are represented by orange dots on the timeline. The keyframes for the selected object's properties are:

- X Location
- Y Location
- Z Location

Annotation: A red and white mouse cursor icon is positioned over the timeline at frame 30. The text "キーフレームを作るところに移動" (Move to the place to create a keyframe) is written in orange.

Blender 2.91.0 interface showing the Animation workspace. The main 3D viewport displays a cube in a perspective view. The Outliner panel on the right shows the scene collection with a cube selected. The Properties panel on the right shows the Transform properties for the selected cube, including Location, Rotation, and Scale.

The Animation timeline at the bottom shows a keyframe for the cube's rotation at frame 30. The keyframe is labeled "Rotation" in the Insert Keyframe Menu. The timeline also shows keyframes for the cube's location (X, Y, Z) at frame 30.

The text "回転角を記録する" (Record rotation angle) is overlaid on the image, pointing to the "Rotation" option in the Insert Keyframe Menu.

The Insert Keyframe Menu options are:

- Available
- Location
- Rotation
- Scale
- Location & Rotation
- Location, Rotation & Scale
- Location & Scale
- Rotation & Scale
- Delta Location
- Delta Rotation
- Delta Scale
- Visual Location
- Visual Rotation
- Visual Scale
- Visual Location & Rotation
- Visual Location, Rotation & Scale
- Visual Location & Scale
- Visual Rotation & Scale

The Properties panel shows the following values for the selected cube:

Property	Value
Location X	-4.6182 m
Y	0 m
Z	0 m
Rotation X	0°
Y	0°
Z	0°
Mode	XYZ Euler
Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

The Animation timeline shows the following keyframes for the cube's rotation:

Frame	Rotation X (°)	Rotation Y (°)	Rotation Z (°)
0	0	0	0
30	0	0	0
60	0	0	0

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene with a cube and a timeline.

The top toolbar includes: File, Edit, Render, Window, Help, Layout, Modeling, Sculpting, UV Editing, Texture Paint, Shading, Animation, Rendering, Compositing, Scripting, and a plus sign for more tools.

The main 3D viewport displays a cube in the center, with a wireframe cube and a black triangle visible in the background. The view is set to "User Perspective".

The right sidebar shows the "Scene Collection" panel with a tree view containing "Collection", "Camera", "Cube", and "Light". Below it, the "Cube" object's properties are shown, including Transform (Location X: -4.6182 m, Y: 0 m, Z: 0 m; Rotation X: 0°, Y: 0°, Z: 0°; Mode: XYZ Euler; Scale X: 1.000, Y: 1.000, Z: 1.000).

The bottom timeline (Dope Sheet) shows a sequence of frames from 0 to 250. The "Cube" object is selected, and its "CubeAction" is visible. The "Object Transforms" section is expanded, showing keyframes for X Location, Y Location, Z Location, X Euler Rotation, Y Euler Rotation, and Z Euler Rotation. The Y Euler Rotation keyframe at frame 30 is highlighted with an orange box.

An orange callout box with the text "角度だけが記録される" (Only angles are recorded) points to the Y Euler Rotation keyframe at frame 30.

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene with a cube and a timeline.

The 3D Viewport displays a cube in the center, with a wireframe cube and a black triangle visible in the background. The Outliner panel on the right shows the scene collection with objects: Camera, Cube, and Light. The Properties panel on the right shows the Transform properties for the selected Cube, including Location (X: 2.6654 m, Y: 0 m, Z: 0 m), Rotation (X: 0°, Y: 0°, Z: 0°), and Scale (X: 1.000, Y: 1.000, Z: 1.000).

The Timeline at the bottom shows a Dope Sheet view with a keyframe at frame 90. The keyframe is highlighted with an orange box, and a blue arrow points to it from the text "キーフレームを作るところに移動" (Move to the place where you create a keyframe).

The text "ここより前のフレームにキーがないので角度は一定" (Since there are no keys before this frame, the angle is constant) is displayed in an orange box at the bottom.

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene with a cube and a mouse cursor. The interface includes a top menu bar, a left sidebar with the Outliner and Properties panels, and a bottom timeline.

Top Menu Bar: File, Edit, Render, Window, Help, Layout, Modeling, Sculpting, UV Editing, Texture Paint, Shading, Animation, Rendering, Compositing, Scripting, +

Left Sidebar:

- Outliner:** Scene Collection, Collection, Camera, Cube (selected), Light.
- Properties:** Cube, Transform, Location X: -1.706 m, Y: 5.6488 m, Z: 0 m, Rotation X: 0°, Y: 0°, Z: 0°, Mode: XYZ Euler, Scale X: 1.000, Y: 1.000, Z: 1.000.

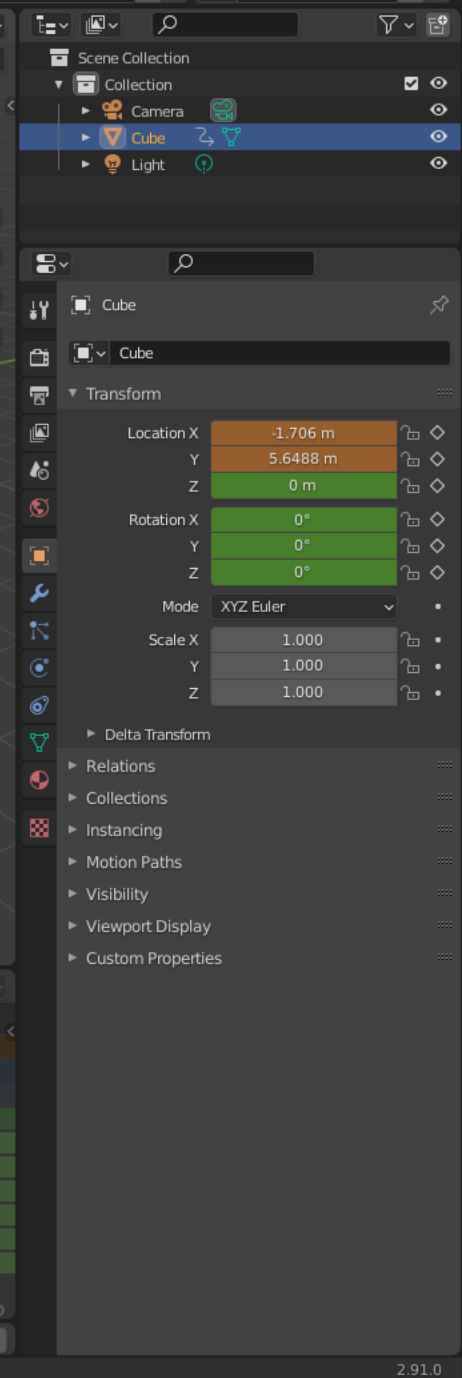
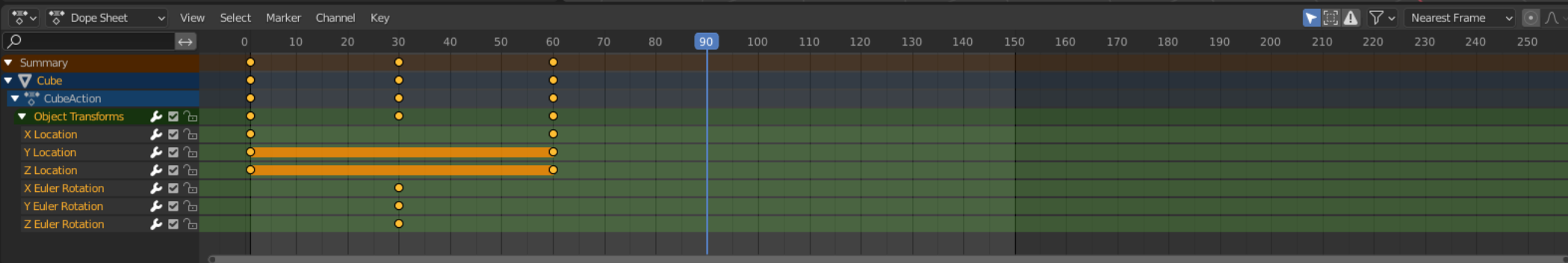
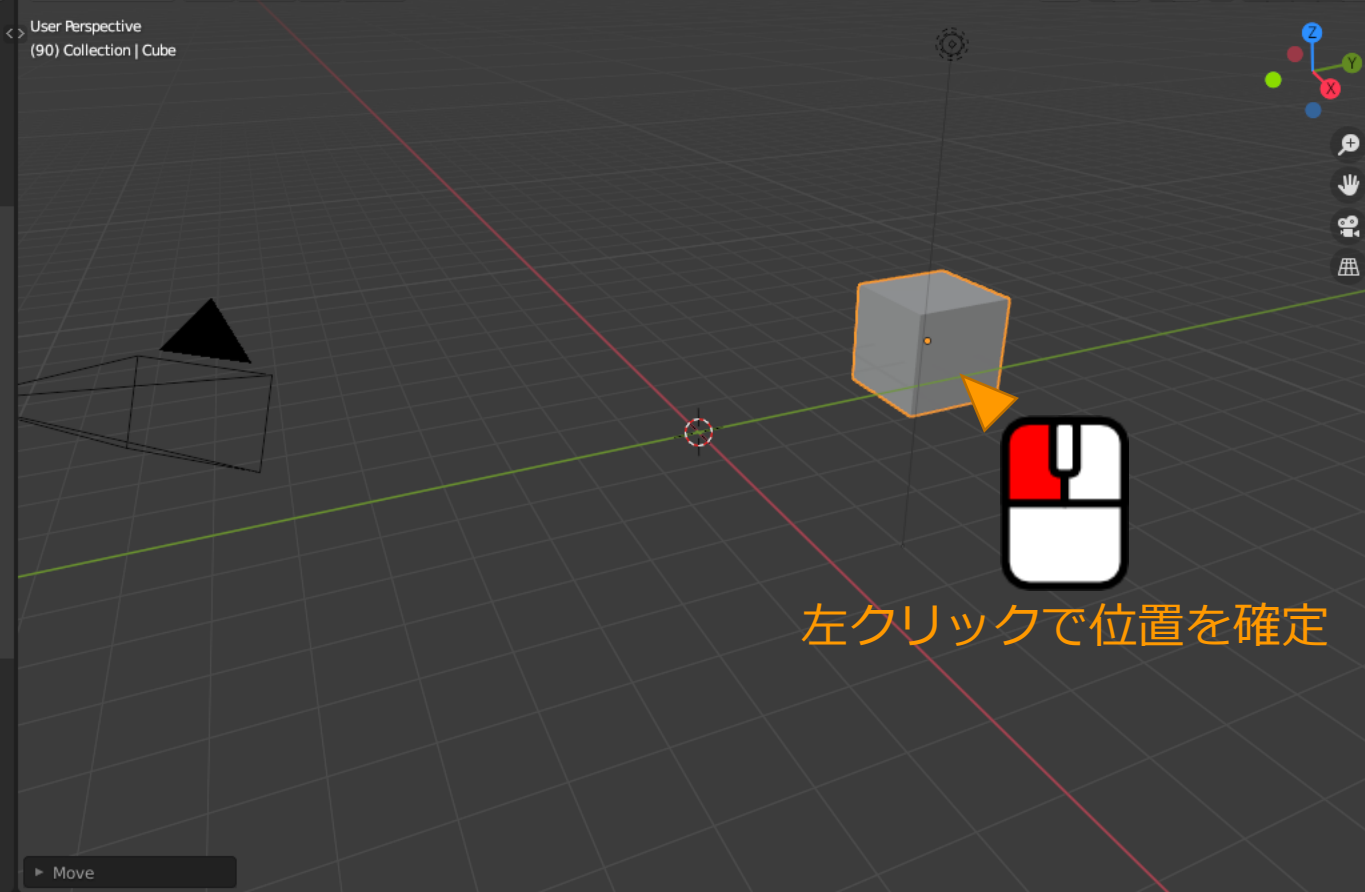
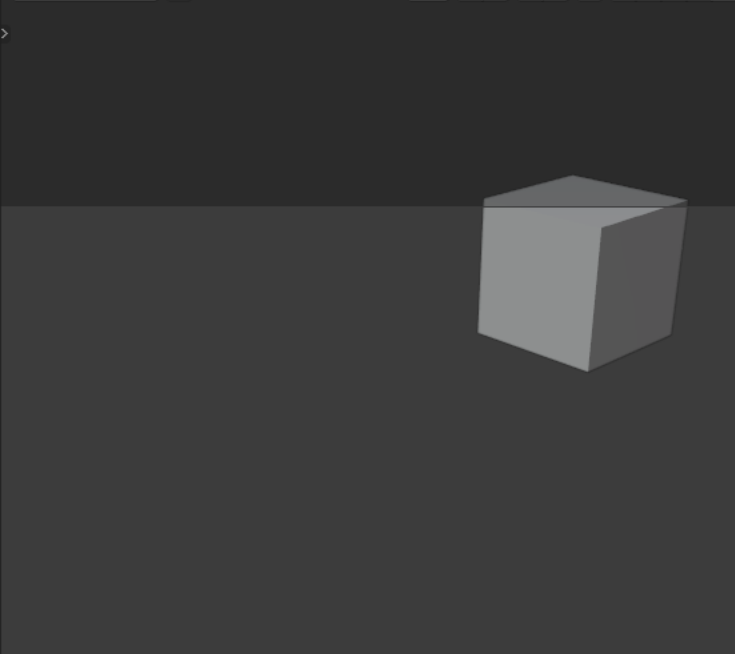
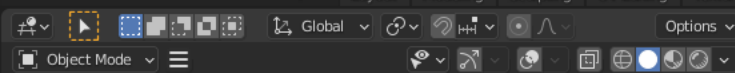
3D Viewport: User Perspective (90) Collection | Cube. The cube is positioned at the origin (0,0,0). A mouse cursor is shown near the cube. A red line indicates the Z-axis, and a green line indicates the XY plane. A yellow arrow points from the mouse cursor to the cube.

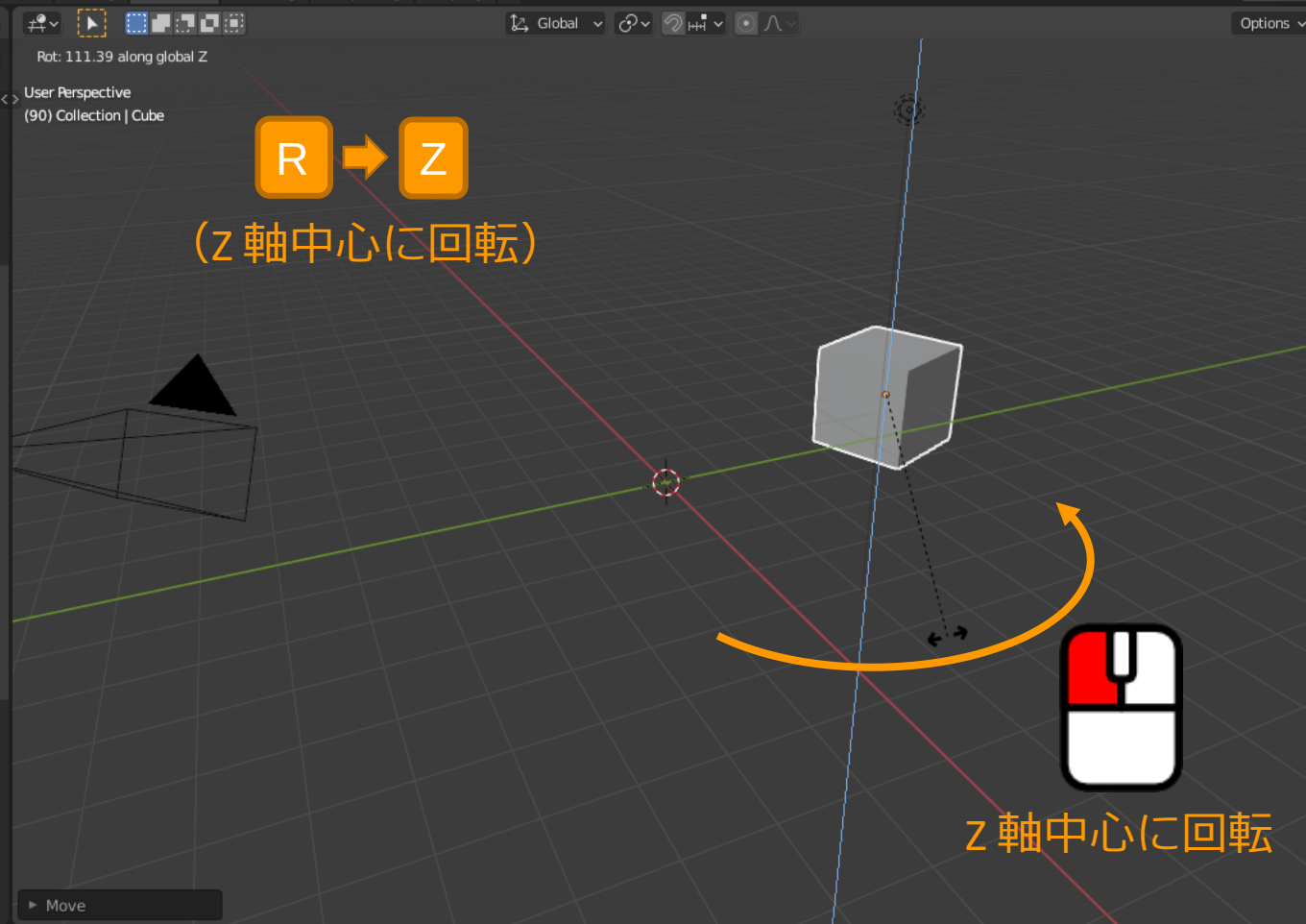
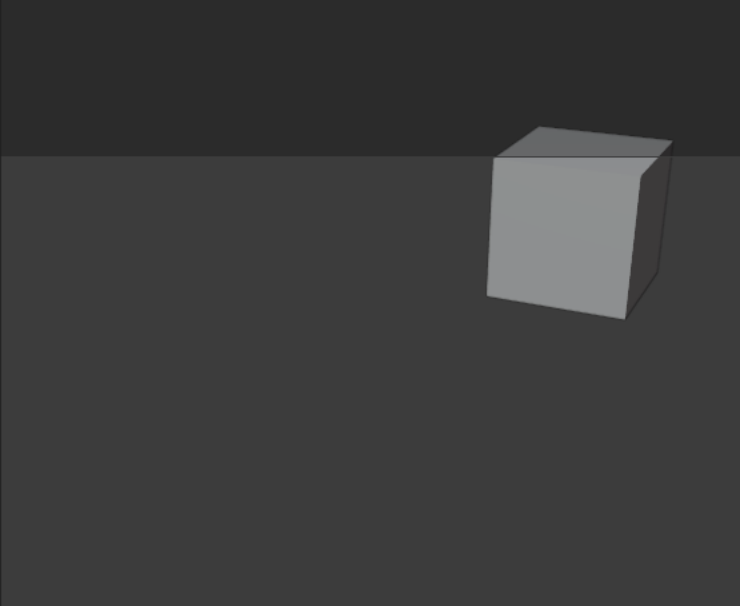
Annotations:

- G** → **Shift** + **Z**
- (Z 軸に垂直な平面 = XY平面上を移動)

Bottom Timeline: Dope Sheet, View, Select, Marker, Channel, Key. The timeline shows a sequence of keyframes for the cube's location and rotation. The current frame is 90.

Bottom Bar: Playback, Keying, View, Marker. The timeline shows a sequence of keyframes for the cube's location and rotation. The current frame is 90.





Scene Collection

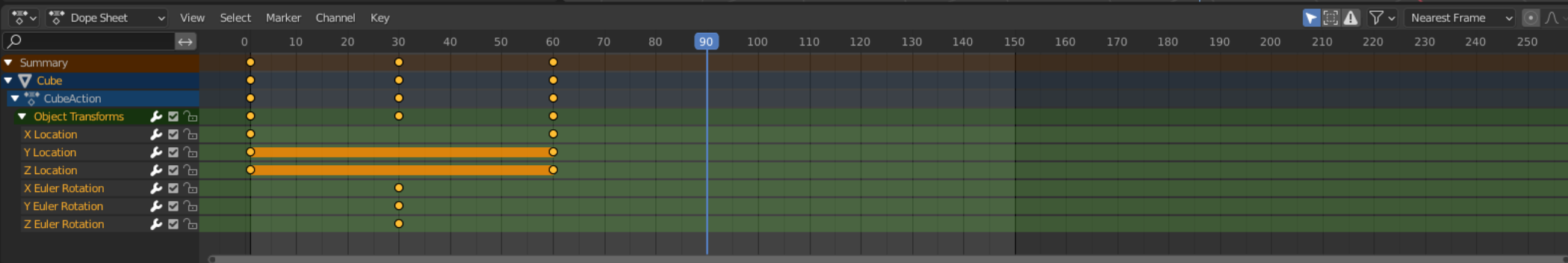
- Collection
 - Camera
 - Cube
 - Light

Transform

Location X	-1.706 m
Y	5.6488 m
Z	0 m
Rotation X	0°
Y	0°
Z	111°
Mode	XYZ Euler
Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Delta Transform

- Relations
- Collections
- Instancing
- Motion Paths
- Visibility
- Viewport Display
- Custom Properties



Blender 2.91.0 interface showing the Animation workspace. The main 3D viewport displays a cube in a perspective view. A context menu is open over the cube, showing the "Insert Keyframe Menu" with options like Location, Rotation, Scale, and Location & Rotation. The "Location & Rotation" option is selected. A mouse cursor icon is shown with the text "左クリックで回転を確定" (Click left to confirm rotation). Below the menu, the text "位置と回転角の両方を記録する" (Record both position and rotation angle) is displayed.

The Properties panel on the right shows the Transform properties for the selected cube, including Location (X: -1.706 m, Y: 5.6488 m, Z: 0 m), Rotation (X: 0°, Y: 0°, Z: 111°), and Scale (X: 1.000, Y: 1.000, Z: 1.000).

The Dope Sheet editor at the bottom shows a timeline with a keyframe set at frame 90. The keyframe is labeled "CubeAction" and includes Object Transforms (Location, Rotation, Scale).

Property	Value
Location X	-1.706 m
Location Y	5.6488 m
Location Z	0 m
Rotation X	0°
Rotation Y	0°
Rotation Z	111°
Scale X	1.000
Scale Y	1.000
Scale Z	1.000

Timeline: 90 (Nearest Frame)

The image shows the Blender 2.91.0 interface. The main 3D viewport displays a scene with a cube and a camera. The cube is highlighted with an orange outline. The timeline at the bottom shows a sequence of frames from 0 to 250. A keyframe is set at frame 90, which is highlighted with a blue box. The keyframe data for the cube is shown in the bottom-left panel, including location (X, Y, Z) and rotation (X, Y, Z) values. The right panel shows the 'Cube' object's properties, including its location, rotation, and scale.

Location X: -1.706 m
Y: 5.6488 m
Z: 0 m
Rotation X: 0°
Y: 0°
Z: 111°
Mode: XYZ Euler
Scale X: 1.000
Y: 1.000
Z: 1.000

Object Transforms
X Location
Y Location
Z Location
X Euler Rotation
Y Euler Rotation
Z Euler Rotation

位置と角度の両方が記録される

Blender 2.91.0 interface showing the 3D Viewport and the Properties panel.

3D カーソルを原点に移動する

Shift + S

Selection to Cursor 8

Selection to Cursor (Keep Offset) 7

Selection to Active 9

Selection to Grid 6

Cursor to Grid 4

Cursor to World Origin 1

Cursor to Active 3

Snap 3D cursor to origin.

または 1

キーフレームを作るところに移動

Timeline: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 121, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250

Summary

- Cube
- CubeAction
 - Object Transforms
 - X Location
 - Y Location
 - Z Location
 - X Euler Rotation
 - Y Euler Rotation
 - Z Euler Rotation

Playback Keying View Marker

121 Start 1 End 150

2.91.0

選択しているオブジェクトを 3D カーソルの位置に移す

もう一度 **Shift + S**

または **8**

Dope Sheet View Select Marker Channel Key

Summary

Cube

CubeAction

Object Transforms

X Location

Y Location

Z Location

X Euler Rotation

Y Euler Rotation

Z Euler Rotation

121

Nearest Frame

121 Start 1 End 150

Scene Collection

Collection

Camera

Cube

Light

Cube

Transform

Location X: -1.706 m

Y: 5.6488 m

Z: 0 m

Rotation X: 0°

Y: 0°

Z: 111°

Mode: XYZ Euler

Scale X: 1.000

Y: 1.000

Z: 1.000

Delta Transform

Relations

Collections

Instancing

Motion Paths

Visibility

Viewport Display

Custom Properties

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene with a cube and a timeline.

The main 3D viewport displays a cube in the center, with a wireframe cube and a black triangle visible in the background. The cube is selected, and the Transform Orientations menu is open, showing options: Global, Local, Normal, Gimbal, View, and Cursor. The Local option is highlighted.

The right sidebar shows the Properties panel for the selected Cube, displaying the Transform properties:

- Location X: 0 m
- Y: 0 m
- Z: 0 m
- Rotation X: 0°
- Y: 0°
- Z: 111°
- Mode: XYZ Euler
- Scale X: 1.000
- Y: 1.000
- Z: 1.000

The bottom timeline shows the current frame at 121. The timeline includes a Summary track and an Object Transforms track for the Cube. The Object Transforms track shows keyframes for X Location, Y Location, Z Location, X Euler Rotation, Y Euler Rotation, and Z Euler Rotation.

Annotations in the image:

- ローカル座標系に切り替える (Switch to Local coordinate system)
- Object Mode (Object Mode)
- View (View)
- Select (Select)
- Add (Add)
- Object (Object)
- Transform Orientations (Transform Orientations)
- Global (Global)
- Local (Local)
- Normal (Normal)
- Gimbal (Gimbal)
- View (View)
- Cursor (Cursor)
- Scene Collection (Scene Collection)
- Collection (Collection)
- Camera (Camera)
- Cube (Cube)
- Light (Light)
- Delta Transform (Delta Transform)
- Relations (Relations)
- Collections (Collections)
- Instancing (Instancing)
- Motion Paths (Motion Paths)
- Visibility (Visibility)
- Viewport Display (Viewport Display)
- Custom Properties (Custom Properties)
- Summary (Summary)
- Cube (Cube)
- CubeAction (CubeAction)
- Object Transforms (Object Transforms)
- X Location (X Location)
- Y Location (Y Location)
- Z Location (Z Location)
- X Euler Rotation (X Euler Rotation)
- Y Euler Rotation (Y Euler Rotation)
- Z Euler Rotation (Z Euler Rotation)
- Playback (Playback)
- Keying (Keying)
- View (View)
- Marker (Marker)
- Select (Select)
- Box Select (Box Select)
- Rotate View (Rotate View)
- Object Context Menu (Object Context Menu)

Blender 2.91.0 interface showing a cube in the 3D viewport and its properties in the Outliner and Properties panels.

The 3D viewport displays a cube with a rotation of -180.36 along the local Y axis. The rotation is visualized by a yellow arrow pointing from 'R' to 'Y' and a yellow circular arrow around the cube. The text "(ローカル座標系の Y 軸中心に回転)" (Rotate around the Y-axis of the local coordinate system) is displayed.

The Outliner panel shows the scene collection with a cube selected. The Properties panel shows the cube's transform properties:

Property	Value
Location X	0 m
Y	0 m
Z	0 m
Rotation X	0°
Y	-180°
Z	111°
Mode	XYZ Euler
Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

The Dope Sheet editor at the bottom shows a timeline with a keyframe at frame 121. The keyframe is labeled "CubeAction" and includes "Object Transforms" for X Location, Y Location, Z Location, X Euler Rotation, Y Euler Rotation, and Z Euler Rotation.

The bottom status bar shows the current frame is 121, and the timeline ranges from 1 to 150.

Blender 2.91.0 interface showing the Animation workspace. The main 3D viewport displays a cube in the center, with a wireframe cube and a black triangle visible in the background. The top status bar indicates "User Perspective (121) Collection | Cube".

The left sidebar shows the "Object Mode" tab. The right sidebar shows the "Scene" collection, with the "Cube" object selected. The "Properties" panel on the right shows the "Transform" properties for the selected cube, including "Location Y" (0.0), "Scale X" (1.000), "Y" (1.000), and "Z" (1.000).

The bottom timeline shows the "Dope Sheet" view. The timeline is set to "Nearest Frame" and displays a sequence of keyframes for the "Cube" object. The keyframes are organized into a table with columns for "Summary", "Cube", and "CubeAction". The "CubeAction" column shows keyframes for "Object Transforms", "X Location", "Y Location", "Z Location", "X Euler Rotation", "Y Euler Rotation", and "Z Euler Rotation". The keyframes are marked with orange dots and lines, indicating the timing of the animation.

An "Insert Keyframe Menu" is open, showing a list of properties that can be animated. The "Available" option is selected. The menu includes the following options:

- Available
- Location
- Rotation
- Scale
- Location & Rotation
- Location, Rotation & Scale
- Location & Scale
- Rotation & Scale
- Delta Location
- Delta Rotation
- Delta Scale
- Visual Location
- Visual Rotation
- Visual Scale
- Visual Location & Rotation
- Visual Location, Rotation & Scale
- Visual Location & Scale
- Visual Rotation & Scale

A yellow arrow points from the text "打てるタイムライン 全部にキーを打つ" (Hit keys on all available timelines) to the "Available" option in the menu.

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene and a timeline.

The 3D Viewport displays a cube in the center, with a wireframe cube and a black triangle visible in the background. The Outliner panel on the right shows the scene collection, including Camera, Cube, and Light. The Properties panel on the right shows the Transform properties for the selected Cube, including Location (X: 0 m, Y: 0 m, Z: 0 m), Rotation (X: 0°, Y: -180°, Z: 111°), and Scale (X: 1.000, Y: 1.000, Z: 1.000).

The Timeline panel at the bottom shows a sequence of frames from 0 to 250. The current frame is 121. The timeline includes tracks for Summary, Cube, and CubeAction. The CubeAction track shows keyframes for Object Transforms (X Location, Y Location, Z Location, X Euler Rotation, Y Euler Rotation, Z Euler Rotation) at frame 121. A yellow box highlights the keyframes at frame 121, and a yellow arrow points to them with the text:

全部のタイムラインにキーが打たれる

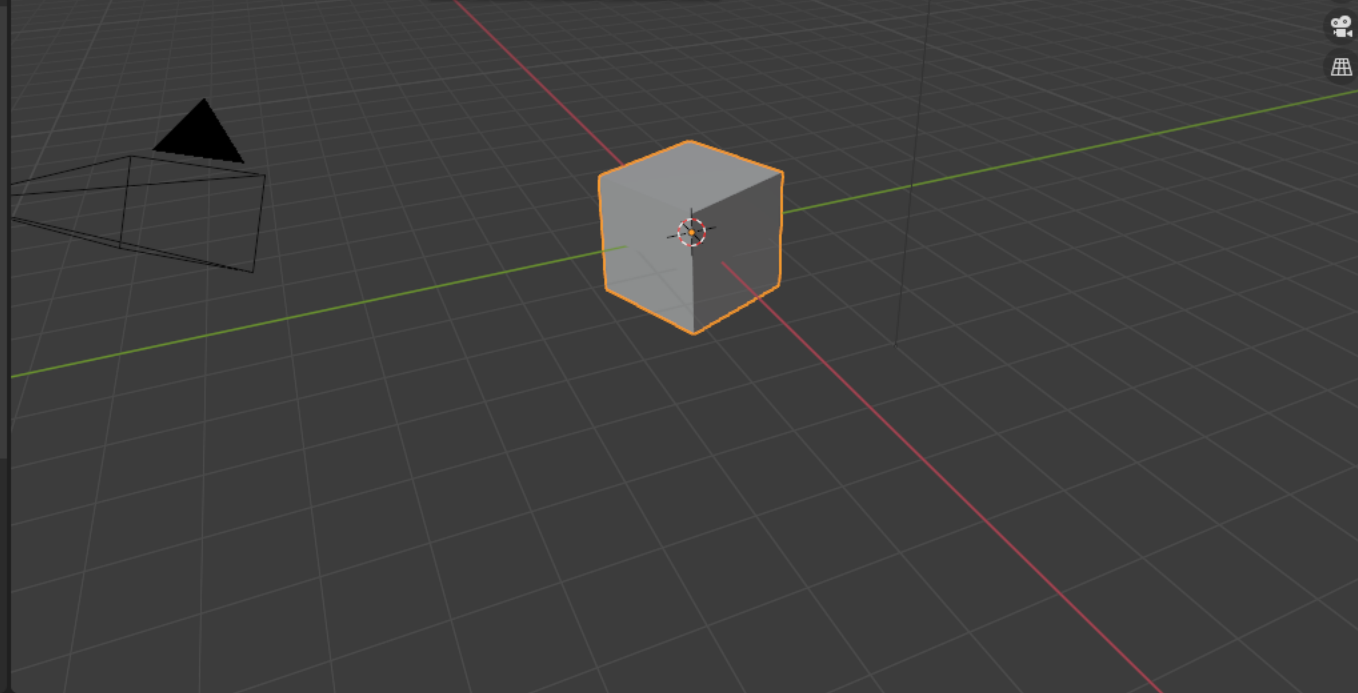
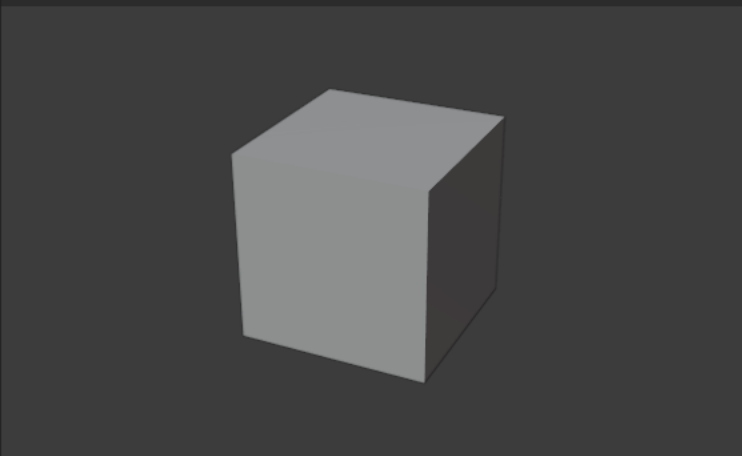
User Perspective

(121) Collection | Cube

Transform Orientations

- Global
- Local
- Normal
- Gimbal
- View
- Cursor

グローバル座標系に切り替える



Scene Collection

- Collection
 - Camera
 - Cube
 - Light

Cube

Transform

Location X	0 m
Y	0 m
Z	0 m
Rotation X	0°
Y	-180°
Z	111°
Mode	XYZ Euler
Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Delta Transform

- Relations
- Collections
- Instancing
- Motion Paths
- Visibility
- Viewport Display
- Custom Properties

Dope Sheet

View Select Marker Channel Key

Summary

Cube

CubeAction

Object Transforms

X Location	0	30	60	90	121
Y Location	0	30	60	90	121
Z Location	0	30	60	90	121
X Euler Rotation	0	30	60	90	121
Y Euler Rotation	0	30	60	90	121
Z Euler Rotation	0	30	60	90	121

Playback Keying View Marker

121 Start 1 End 150

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene and a Dope Sheet timeline.

3D Viewport: Displays a cube in the center of a grid. The viewport is labeled "User Perspective (150) Collection | Cube".

Properties Panel: Shows the "Cube" object selected. The "Transform" section displays the following values:

Property	Value
Location X	0 m
Y	0 m
Z	0 m
Rotation X	0°
Y	-180°
Z	111°
Mode	XYZ Euler
Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Dope Sheet Timeline: The timeline shows frame numbers from 0 to 250. The current frame is 150, indicated by a blue vertical line and a mouse cursor icon. The timeline is divided into sections for "Summary", "Cube", and "CubeAction". The "CubeAction" section contains "Object Transforms" with keyframes for X Location, Y Location, Z Location, X Euler Rotation, Y Euler Rotation, and Z Euler Rotation. The keyframes for X Location, Y Location, and Z Location are highlighted in orange.

Annotation: A large orange arrow points from the text "キーフレームを作るところに移動" (Move to the place where keyframes are made) to the frame 150 on the timeline.

Blender 2.91.0 interface showing the Animation workspace. The main 3D viewport displays a cube in the center, with a camera view frustum visible. The left sidebar shows the Outliner panel with the 'Cube' object selected. The right sidebar shows the Properties panel for the selected 'Cube' object, with the 'Transform' tab active. The 'Rotation' section is highlighted, showing X, Y, and Z rotation values set to 0°.

Annotations in Japanese:

- 角度を全部 0 にする (キーボードから入力)

The bottom timeline shows the animation sequence for the 'Cube' object, with keyframes for Location and Rotation properties. The timeline is currently at frame 150.

Property	Frame 0	Frame 30	Frame 60	Frame 90	Frame 120
X Location	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y Location	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z Location	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X Euler Rotation	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y Euler Rotation	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z Euler Rotation	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Blender 2.91.0 interface showing the 3D Viewport and the Dope Sheet editor.

The 3D Viewport displays a cube in the center, with a camera view frustum. The top status bar indicates "User Perspective (150) Collection | Cube".

The Dope Sheet editor at the bottom shows a timeline from 0 to 250. The "Cube" object is selected, and its "CubeAction" is expanded. The "Object Transforms" section is visible, showing keyframes for X Location, Y Location, Z Location, X Euler Rotation, Y Euler Rotation, and Z Euler Rotation. All these properties have keyframes at frame 150, indicated by orange dots and lines.

An orange callout box with the text "I → Enter" is positioned over the 3D Viewport, suggesting a keyboard shortcut for inserting a keyframe.

An orange callout box with the text "全部のタイムラインにキーが打たれる" (All timelines get keys) points to the keyframes at frame 150 in the Dope Sheet editor.

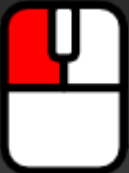
The right sidebar shows the "Scene Collection" panel with "Collection", "Camera", "Cube", and "Light" objects. The "Cube" object is selected, and its "Transform" properties are displayed: Location X, Y, Z (0 m), Rotation X, Y, Z (0°), Mode (XYZ Euler), and Scale X, Y, Z (1.000).

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene with a cube and a timeline editor.

The 3D Viewport displays a cube in the center, with a camera view frustum visible. The Outliner panel on the right shows the scene collection, including the cube and camera. The Properties panel on the right shows the cube's transform properties.

The Timeline editor at the bottom shows a keyframe for the cube's location at frame 45. The timeline is set to frame 45, and the cube's location is 0.37759 m.

キーフレームを挿入するところに移動



Property	Frame 0	Frame 30	Frame 45	Frame 150
X Location	0.00000	0.00000	0.37759	0.37759
Y Location	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Z Location	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
X Euler Rotation	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Y Euler Rotation	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Z Euler Rotation	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene with a cube and a mouse cursor. The scene is in User Perspective view, showing a cube on a grid. The mouse cursor is positioned over the cube, indicating a move operation. The text overlay indicates the keyboard shortcut for moving the cube: **G** → **Shift** + **Z**.

(Z 軸に垂直な平面 = XY平面上を移動)

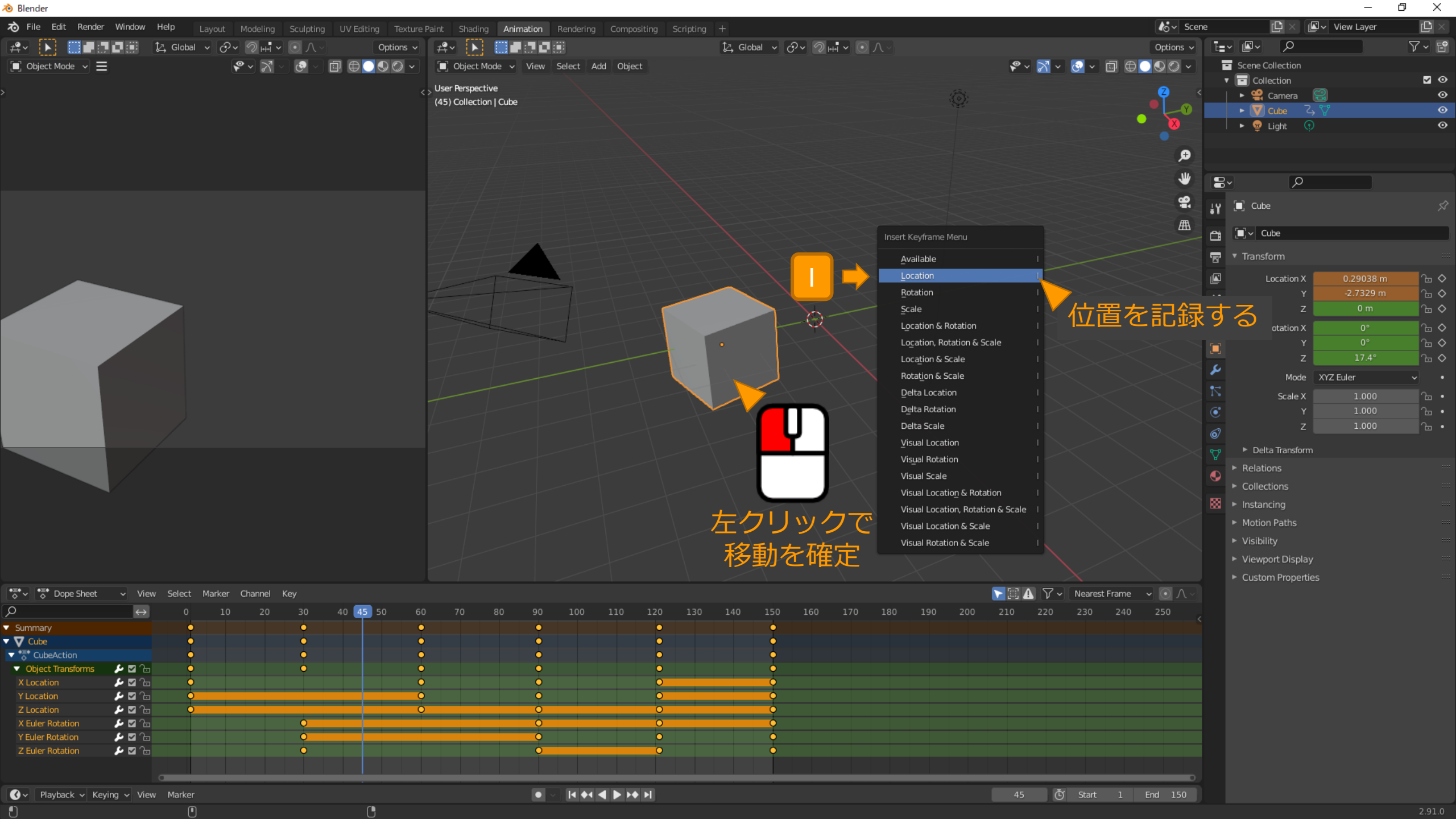
The right sidebar shows the Properties panel for the selected Cube object, displaying its Transform properties:

Property	Value
Location X	0.29038 m
Y	-2.7329 m
Z	0 m
Rotation X	0°
Y	0°
Z	17.4°
Mode	XYZ Euler
Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

The bottom timeline shows the animation sequence for the Cube object, with keyframes for Location and Rotation properties. The timeline is currently at frame 45.

Timeline properties:

- Summary
- Cube
- CubeAction
- Object Transforms
 - X Location
 - Y Location
 - Z Location
 - X Euler Rotation
 - Y Euler Rotation
 - Z Euler Rotation



Blender 2.91.0 interface showing a 3D scene and a timeline.

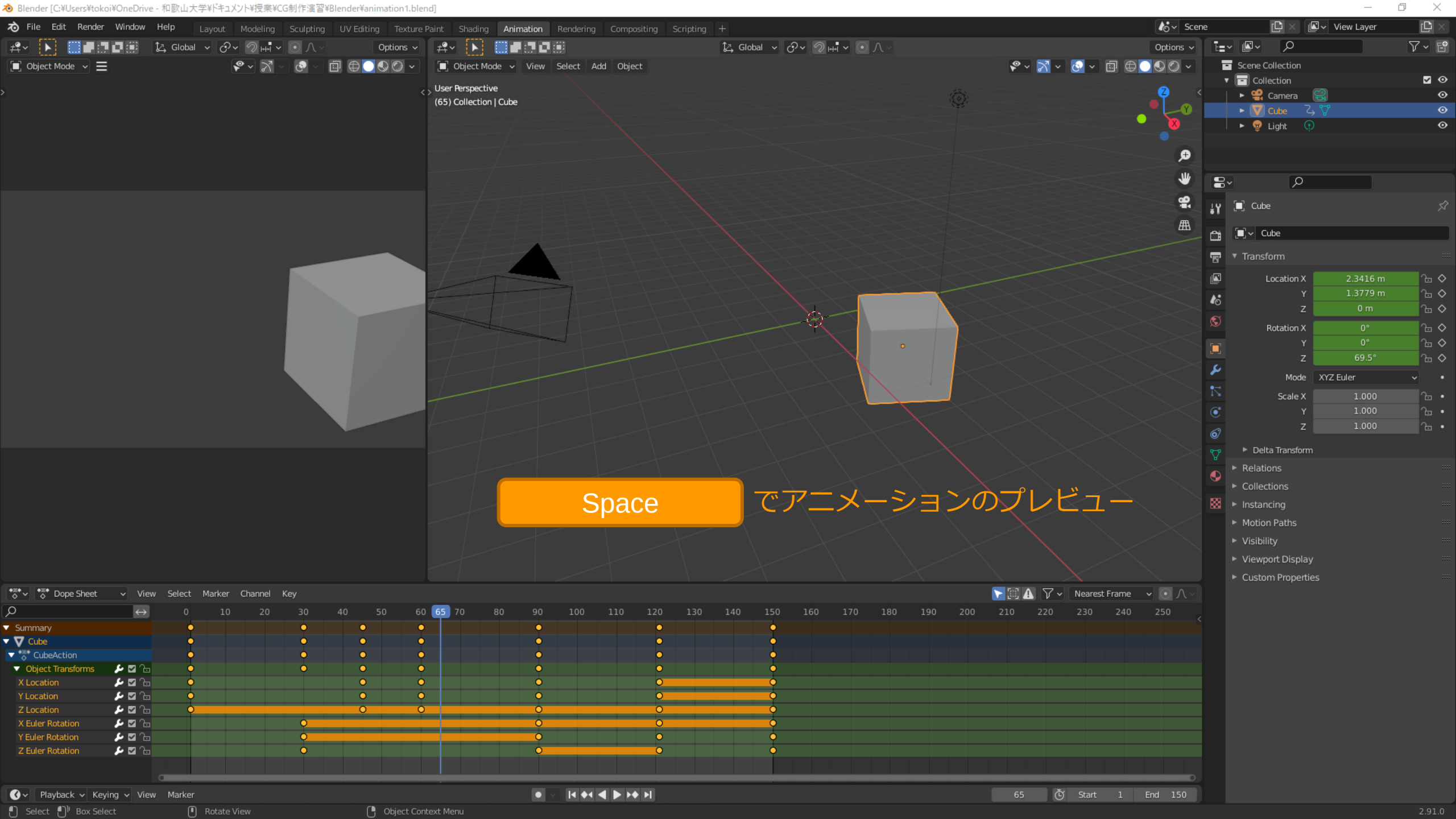
3D Viewport: Displays a cube in a perspective view. The viewport title is "User Perspective (45) Collection | Cube". The top toolbar shows various tools like Select, Add, and Object. The right sidebar shows the "Scene Collection" and "Cube" properties.

Timeline: Shows a sequence of frames from 0 to 250. The current frame is 45. The timeline includes tracks for "Summary", "Cube", "CubeAction", and "Object Transforms".

Annotations: An orange box highlights the "Object Transforms" track at frame 45. An orange arrow points from the text "位置だけが記録される" (Only position is recorded) to this box.

Track	Frame 0	Frame 30	Frame 45	Frame 60	Frame 90	Frame 120	Frame 150
Summary	●	●	●	●	●	●	●
Cube	●	●	●	●	●	●	●
CubeAction	●	●	●	●	●	●	●
Object Transforms	●	●	●	●	●	●	●
X Location	●	●	●	●	●	●	●
Y Location	●	●	●	●	●	●	●
Z Location	●	●	●	●	●	●	●
X Euler Rotation	●	●	●	●	●	●	●
Y Euler Rotation	●	●	●	●	●	●	●
Z Euler Rotation	●	●	●	●	●	●	●

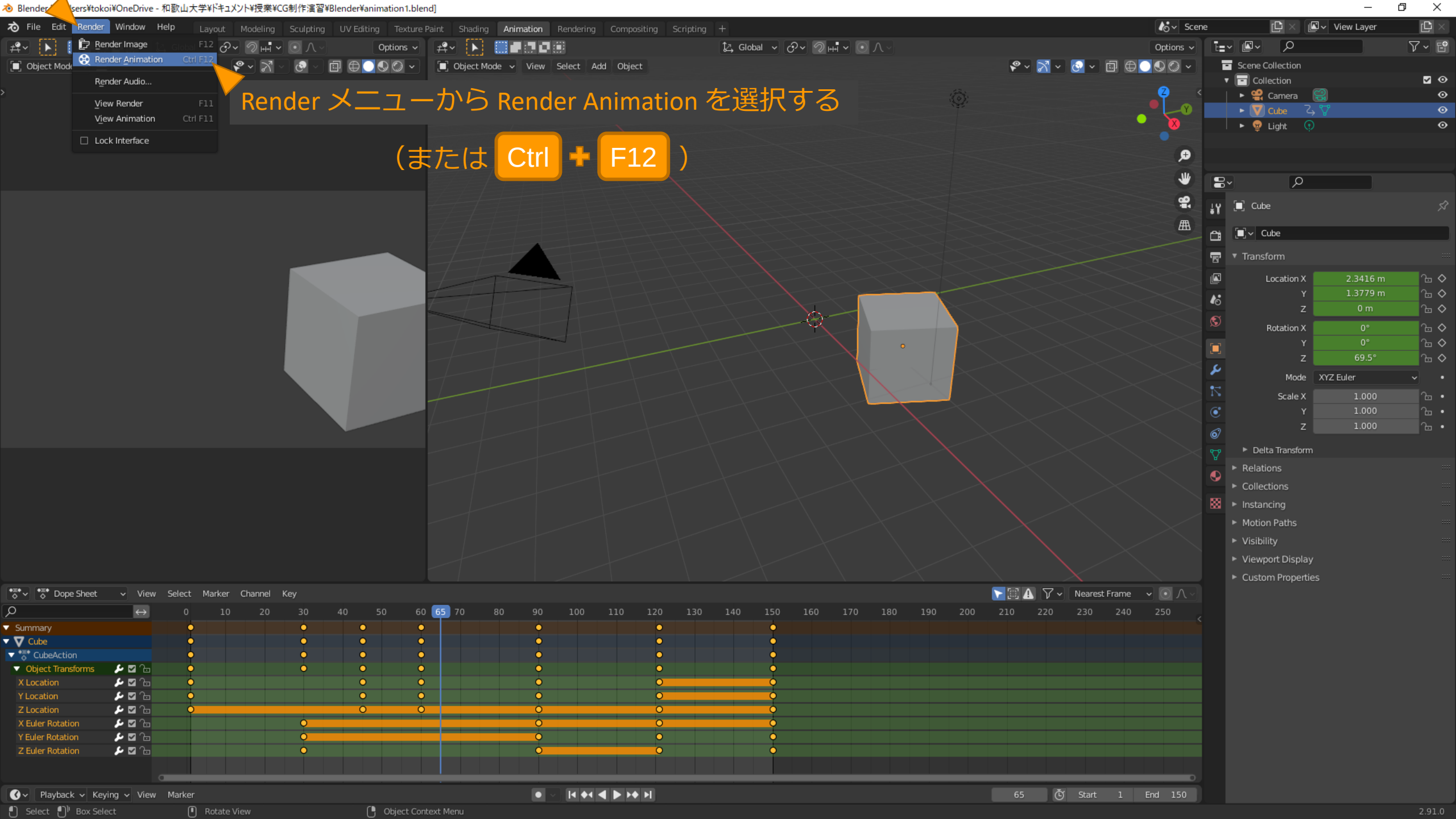
位置だけが記録される



Space

でアニメーションのプレビュー

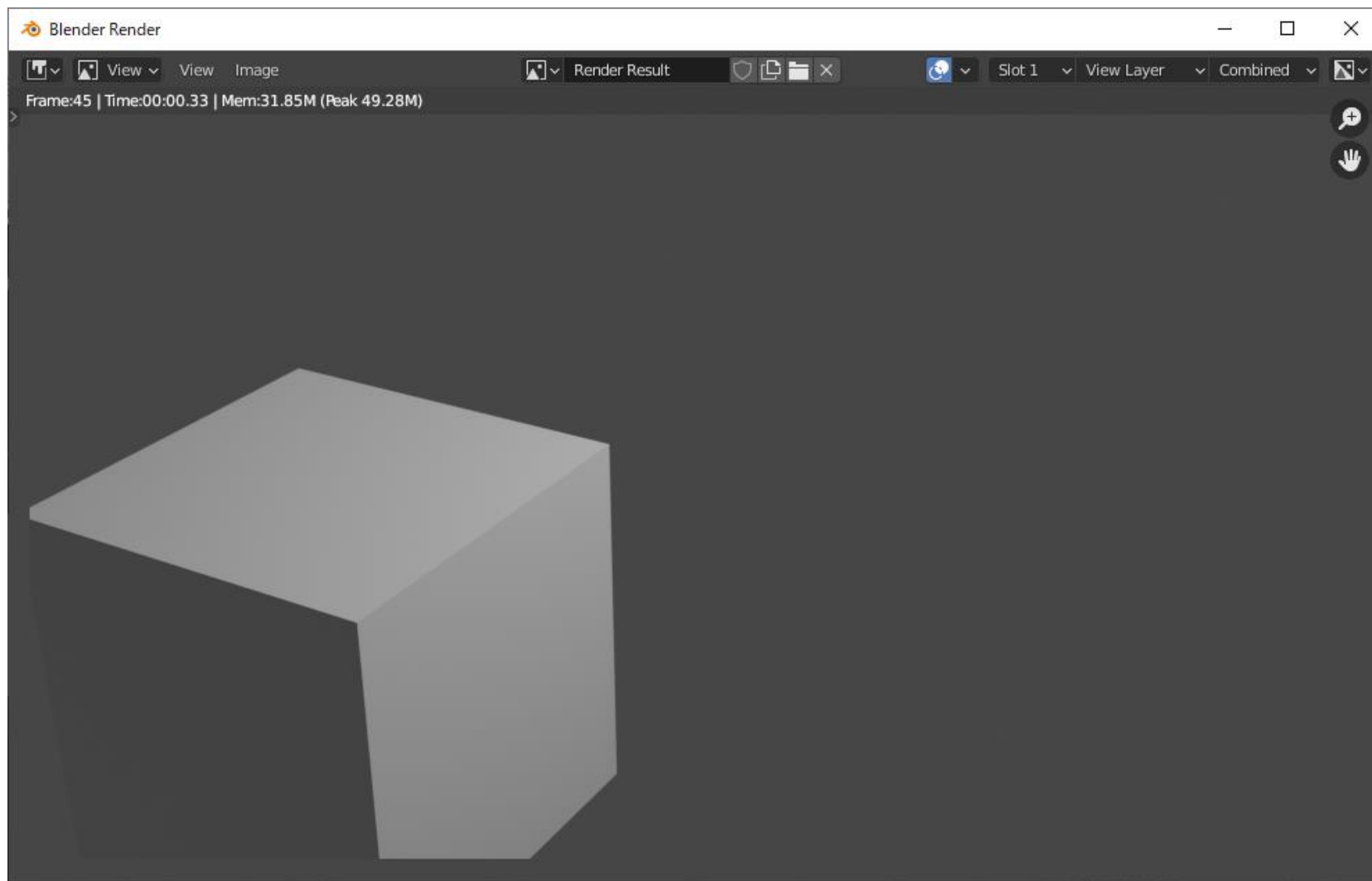
ムービーのレンダリング



Render メニューから Render Animation を選択する

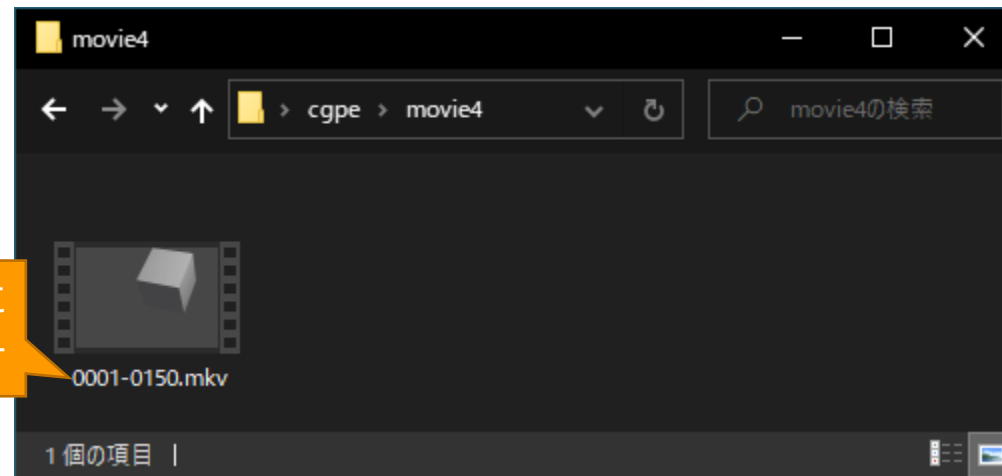
(または Ctrl + F12)

レンダリング中

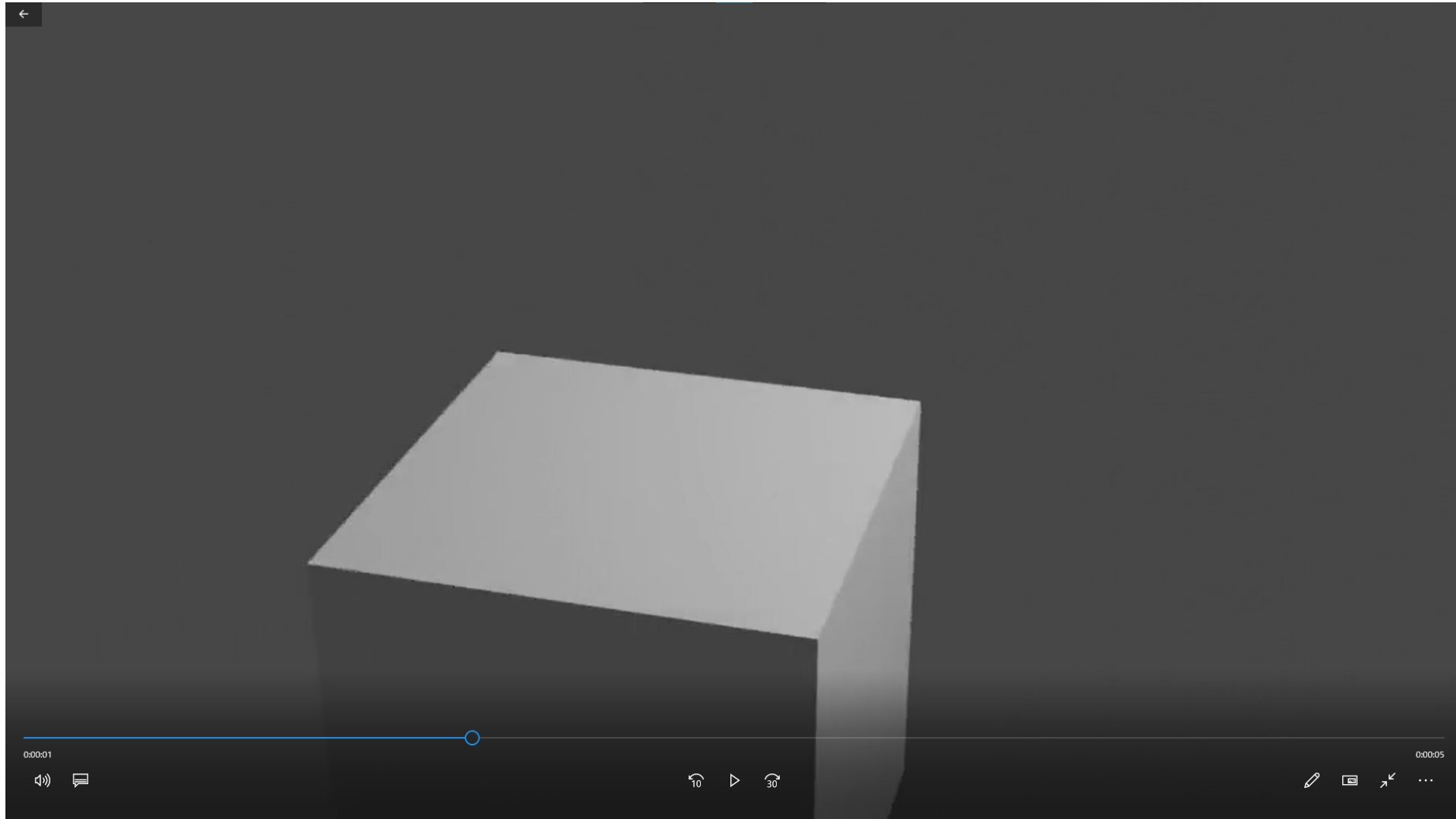


レンダリング終了

ファイル名はレンダリングした
フレームの番号

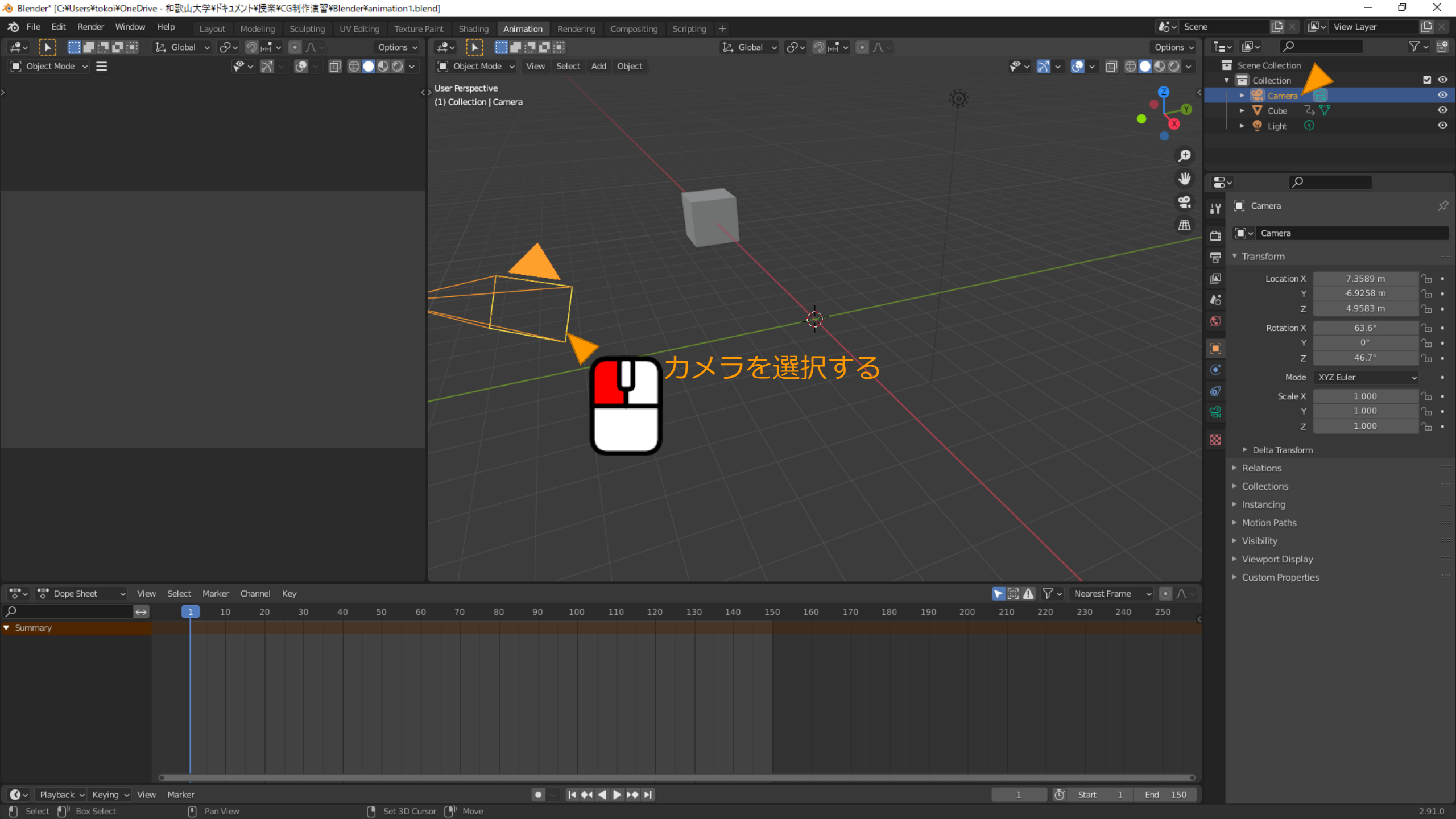


レンダリングしたムービーの再生

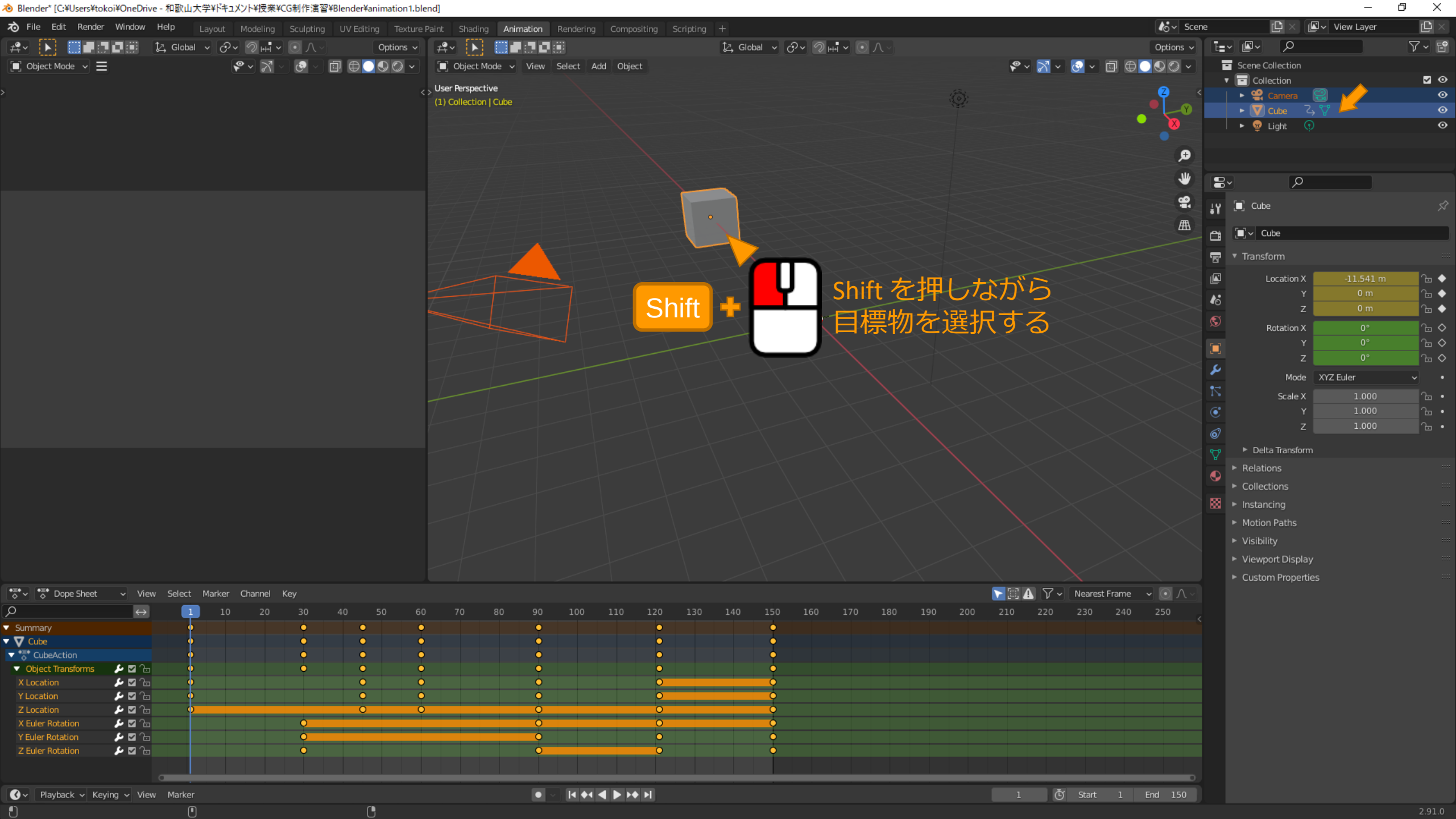


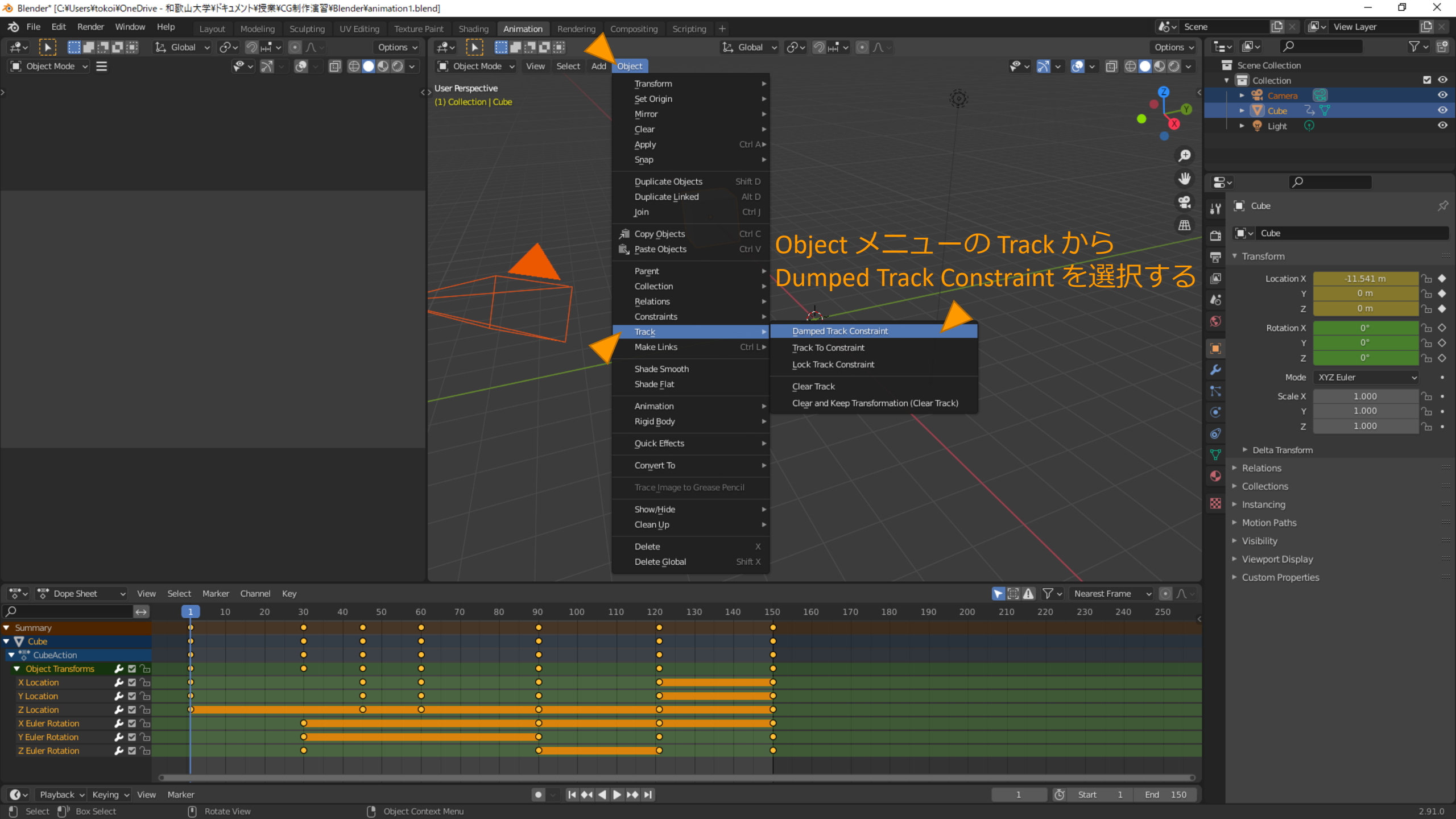
トラッキング

目標物を追いかける

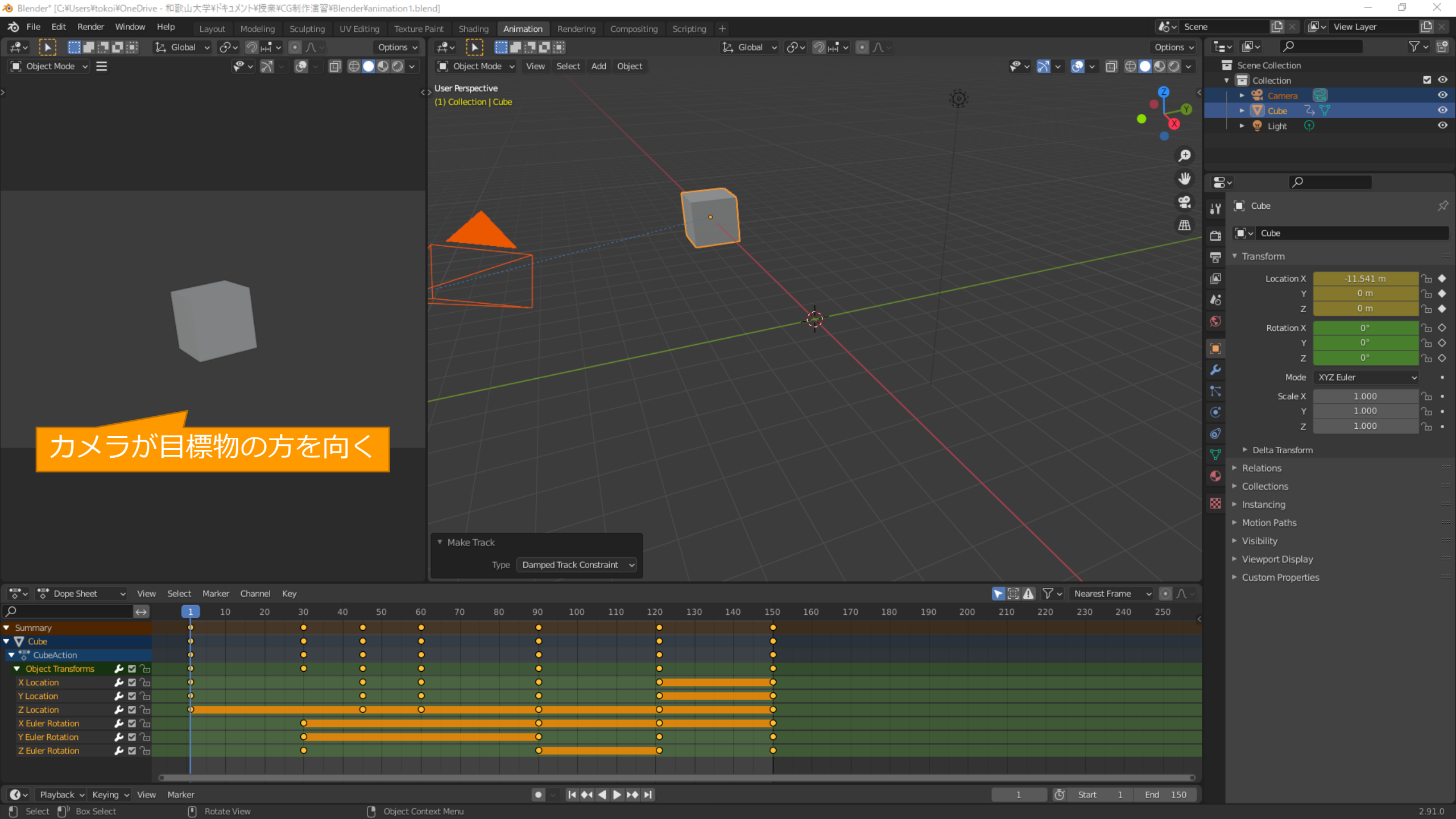


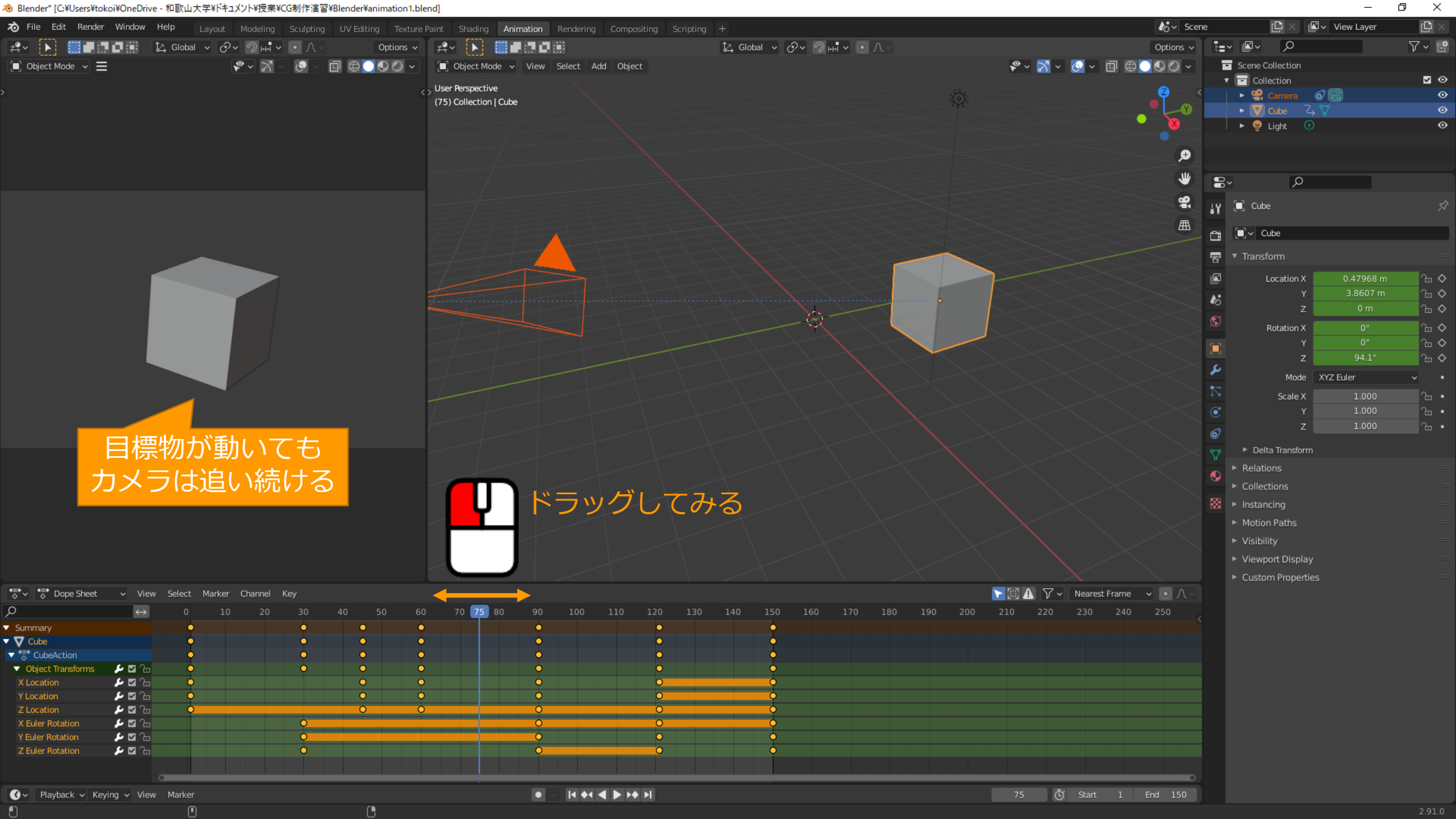
カメラを選択する





Object メニューの Track から
Damped Track Constraint を選択する

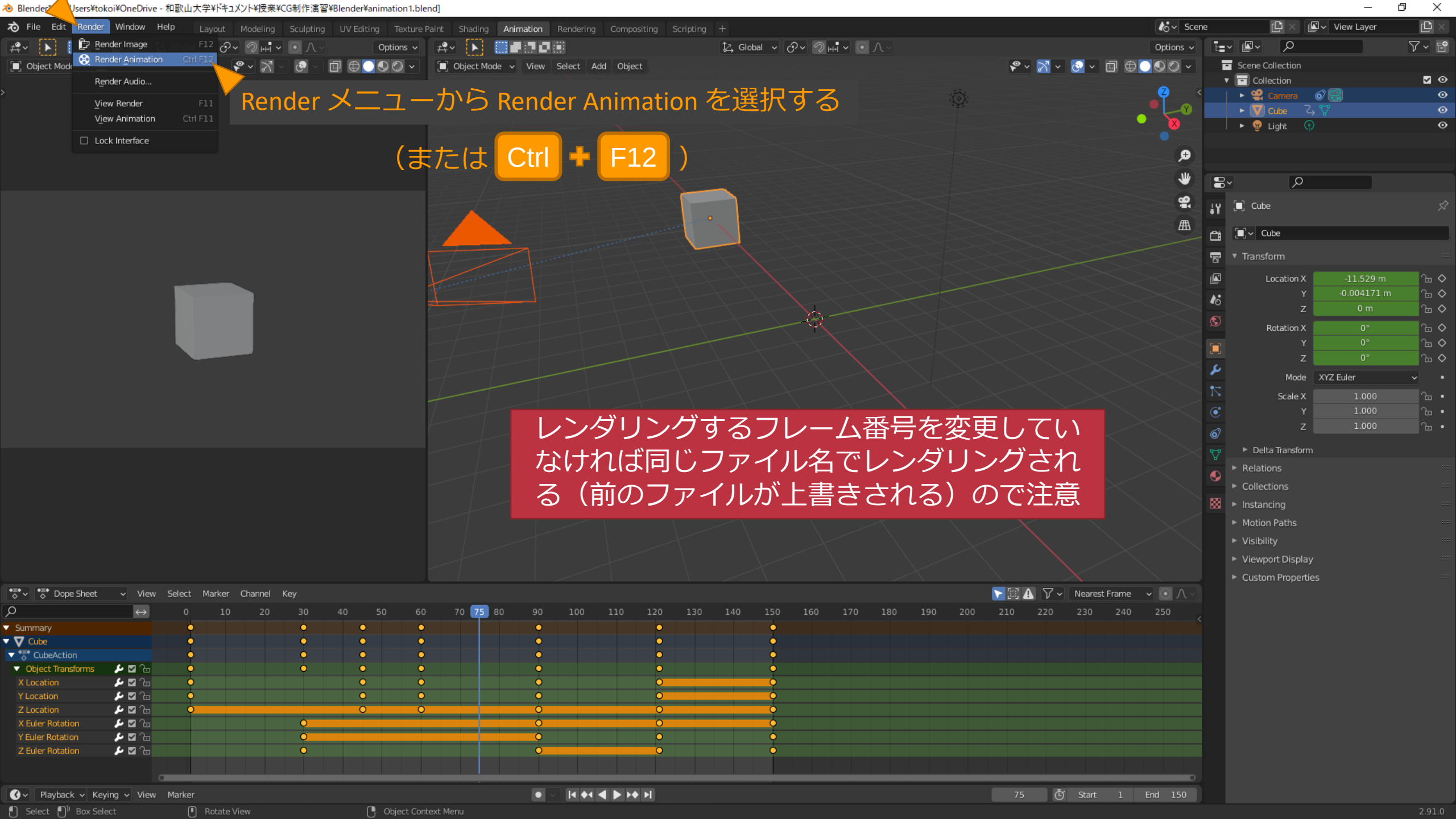




目標物が動いても
カメラは追いつける



ドラッグしてみる



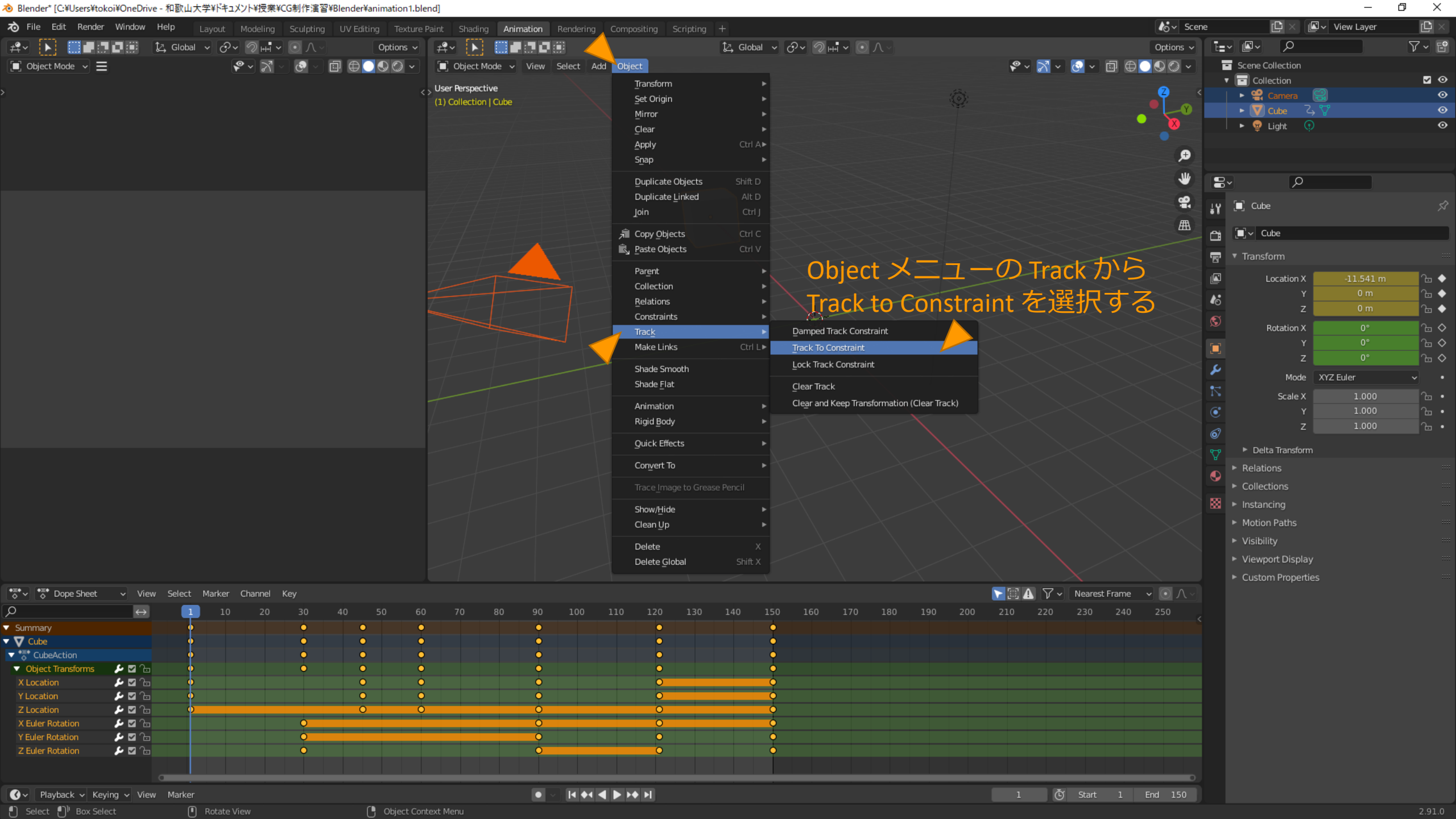
Render メニューから Render Animation を選択する

(または **Ctrl + F12**)

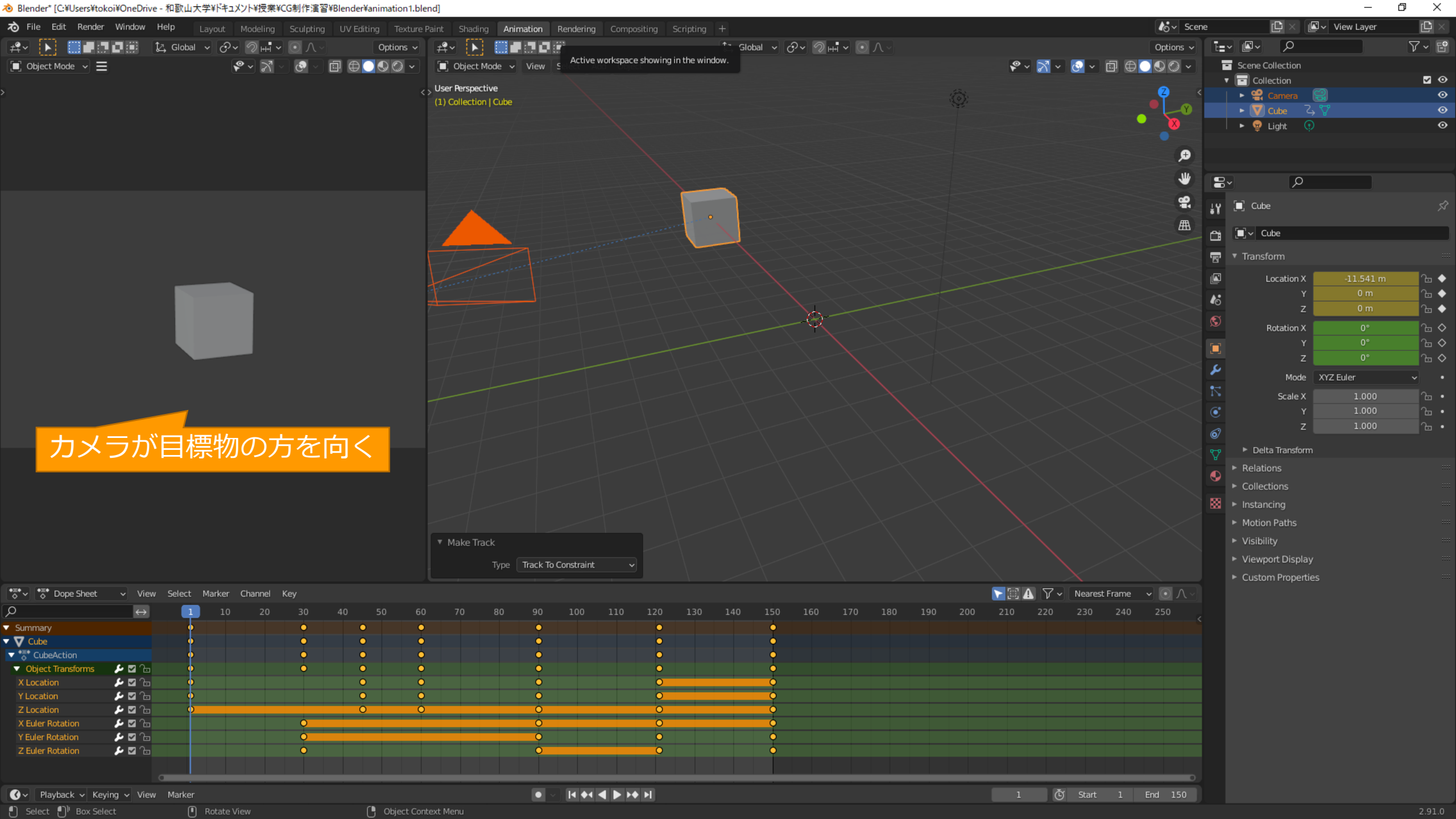
レンダリングするフレーム番号を変更していなければ同じファイル名でレンダリングされる (前のファイルが上書きされる) ので注意

Track to Constraint の場合

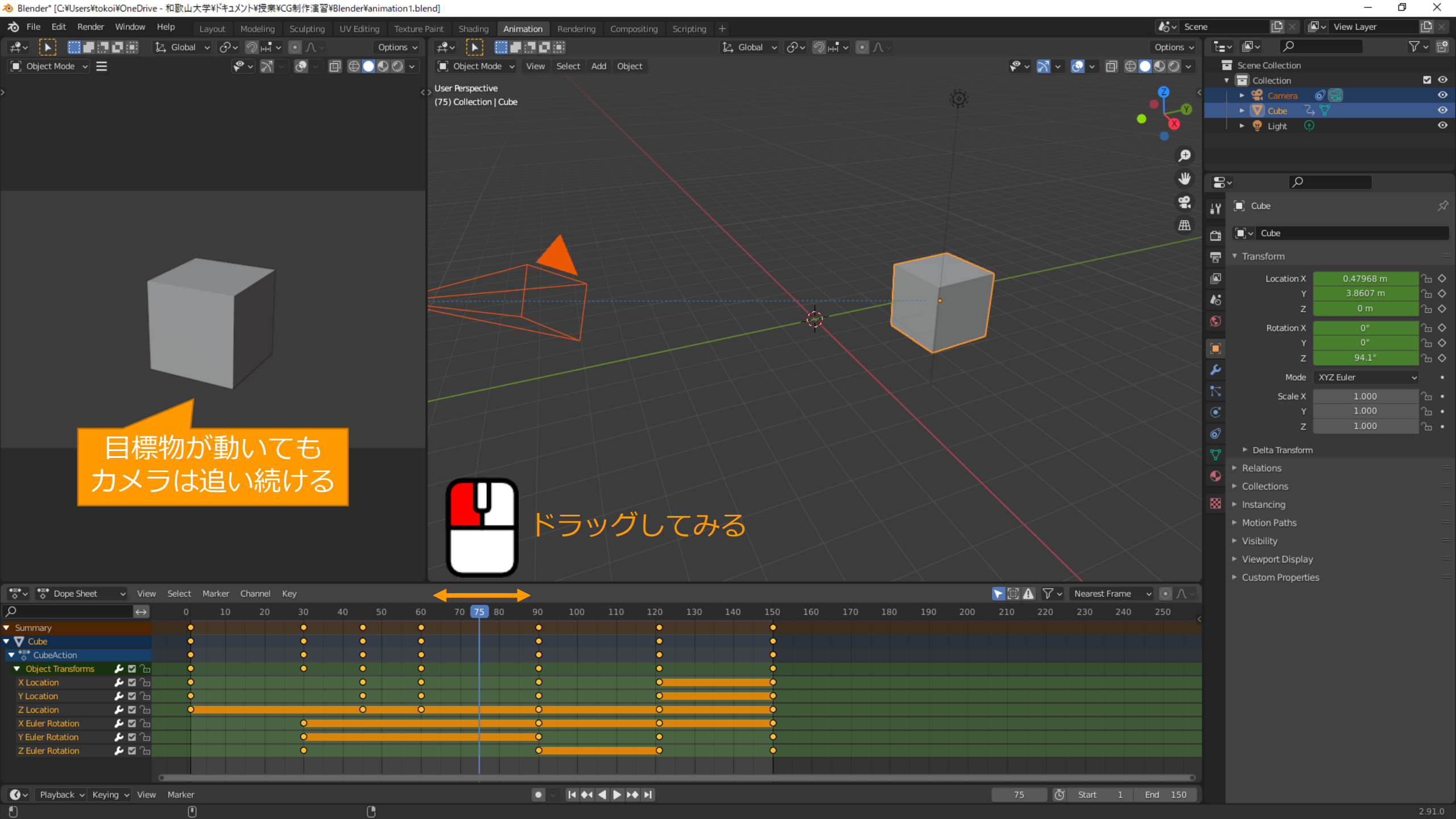
カメラは上方向がグローバル座標系の z 軸の方向に向くように回転する



Object メニューの Track から
Track to Constraint を選択する



カメラが目標物の方を向く



課題

モデリングしたシーンを使ってアニメーションを作成してください

宿題

- モデリングしたシーンにアニメーションを付けてレンダリングし、**4.mkv** というファイル名でアップロードしてください
- 複数ある時は **4_1.mkv**, **4_2.mkv**, ... のように連番を付けてください
- アップロード先は [Moodle](#) に記載しています