

CG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

- CG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
- インビトゥイーン (In-between)

CGアニメーションの制作

- 手書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

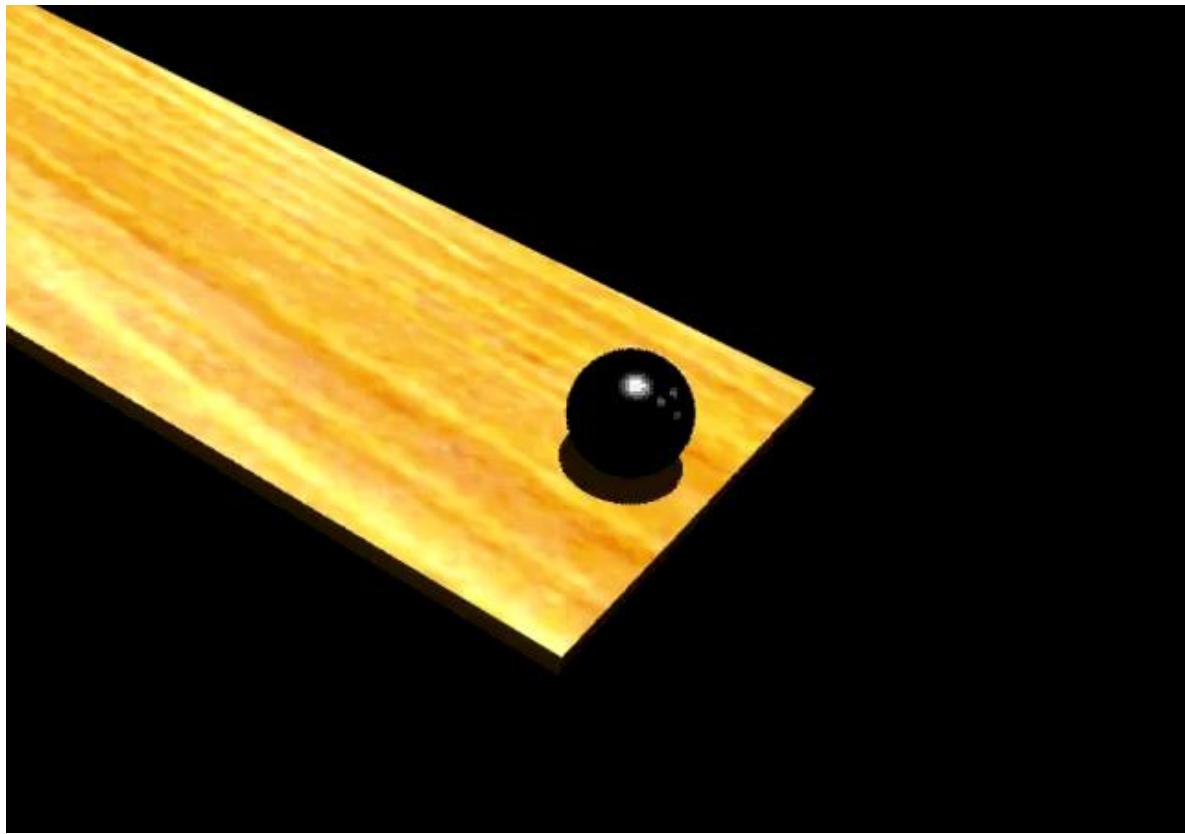
- 現象をモデル化してシミュレーションにより再現する
- 物理シミュレーション
 - 運動シミュレーション
 - 流体シミュレーション
- 成長シミュレーション
- 群衆シミュレーション
- 経年変化

物理シミュレーション

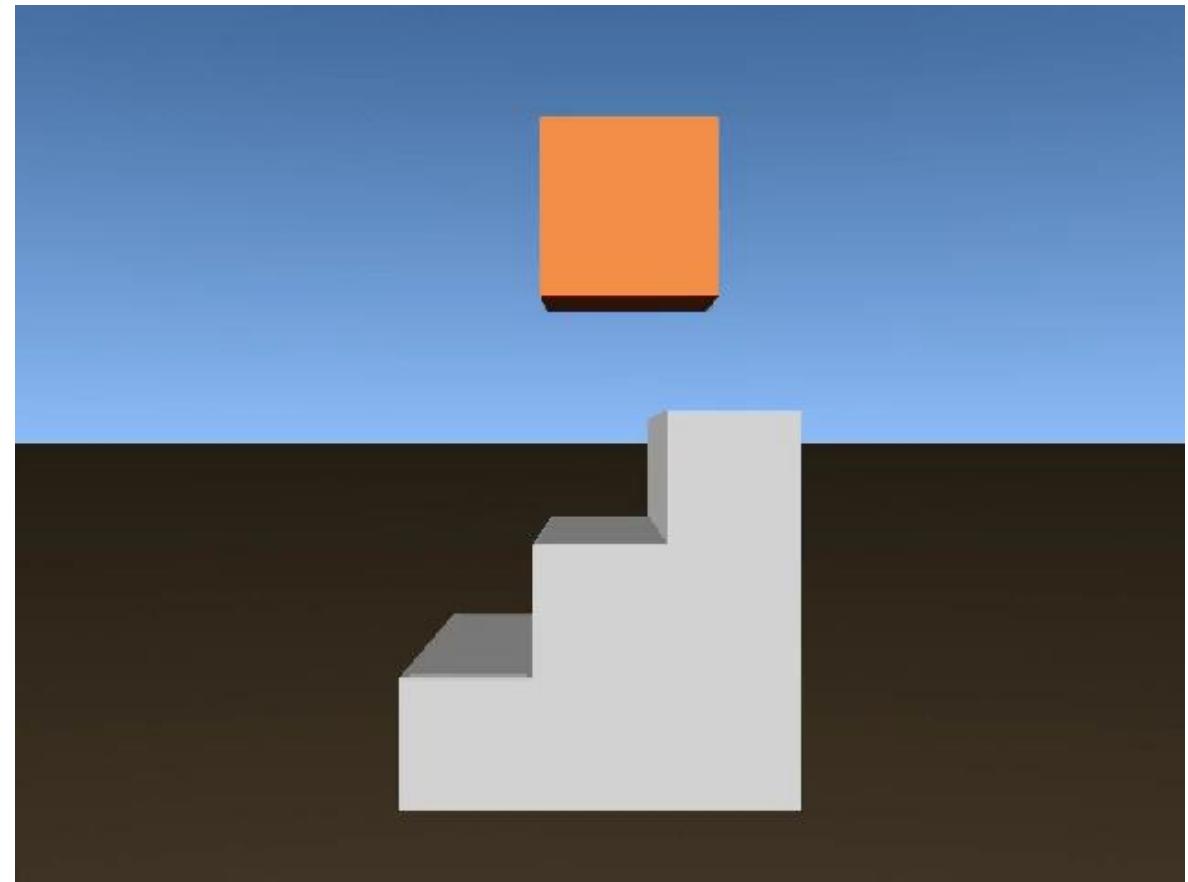
- 手作業では作成困難なリアルな動きを生成する
 - リジッドボディ
 - 剛体（形が変形しない物体）のシミュレーション
 - ソフトボディ
 - 軟体（形が変形する物体）のシミュレーション
 - クロス（布）シミュレーション
 - ソフトボディの一種で布の表現に特化したもの
- モーションダイナミクス

モーションダイナミクス

リジッドボディ



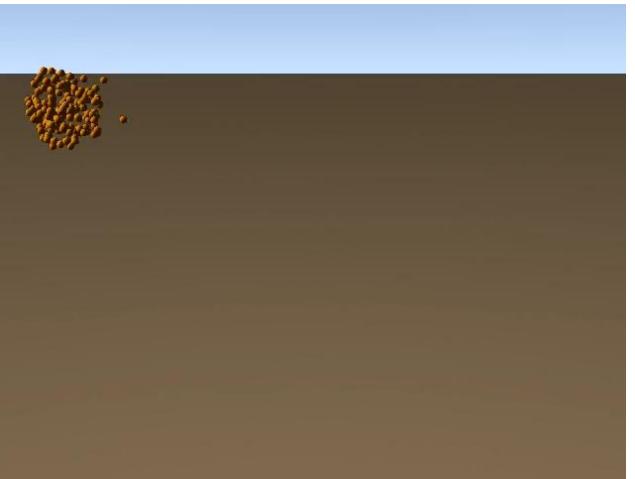
ソフトボディ



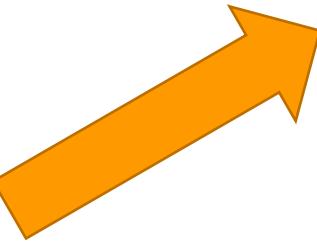
パーティクルによる流体シミュレーション

- 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

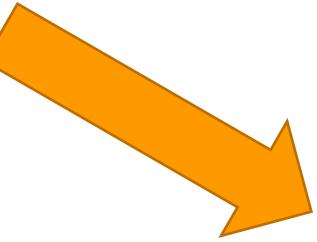
パーティクルによる流体の表現



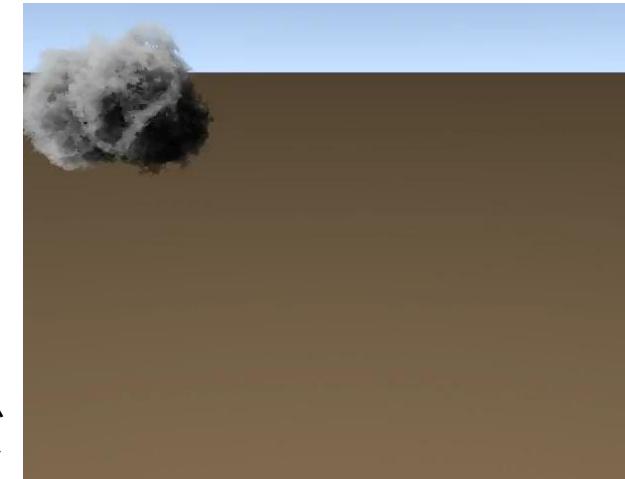
パーティクルに
球を割り当てた場合



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

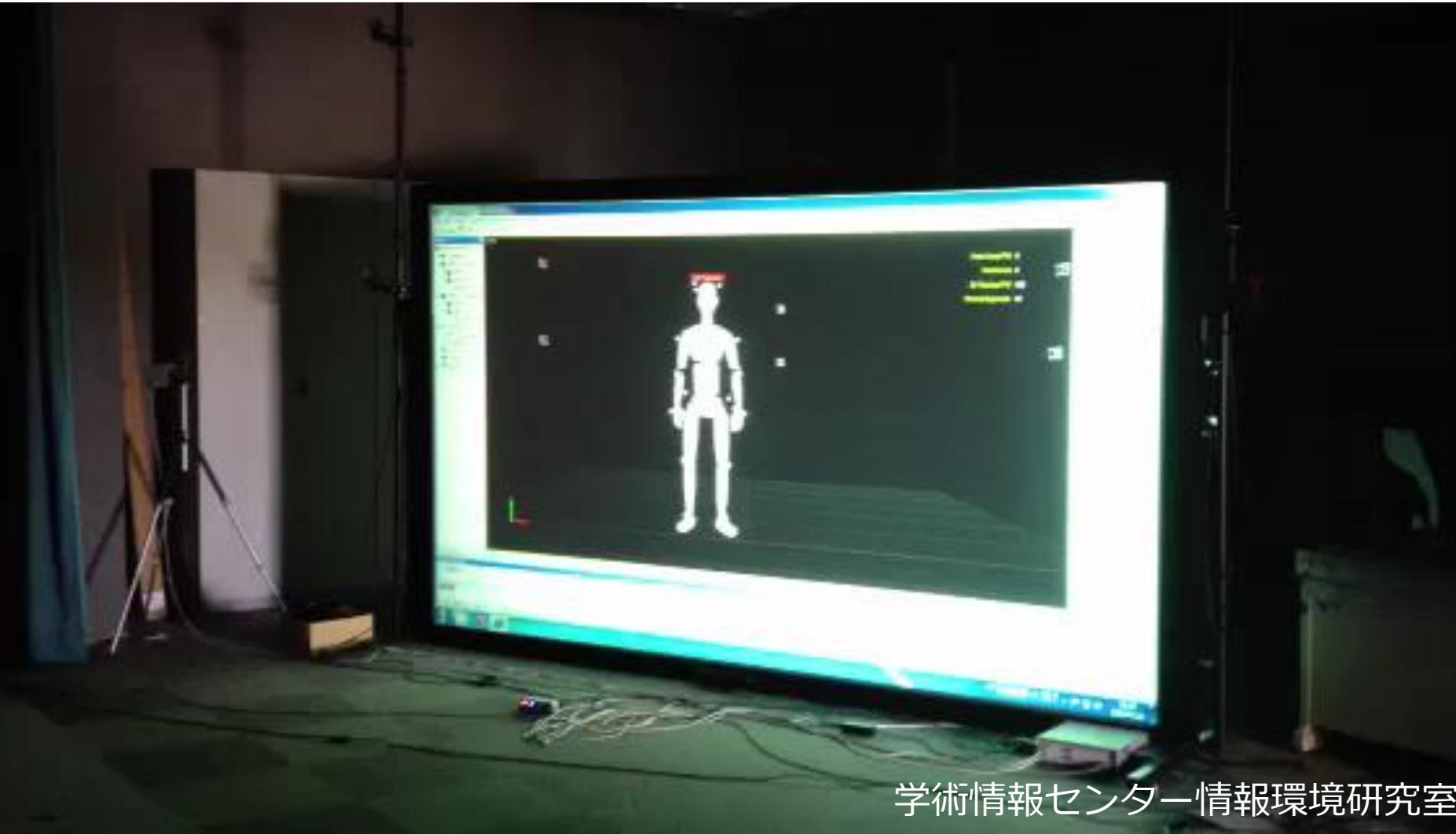
ロトスコープ

- 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されていた
 - 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

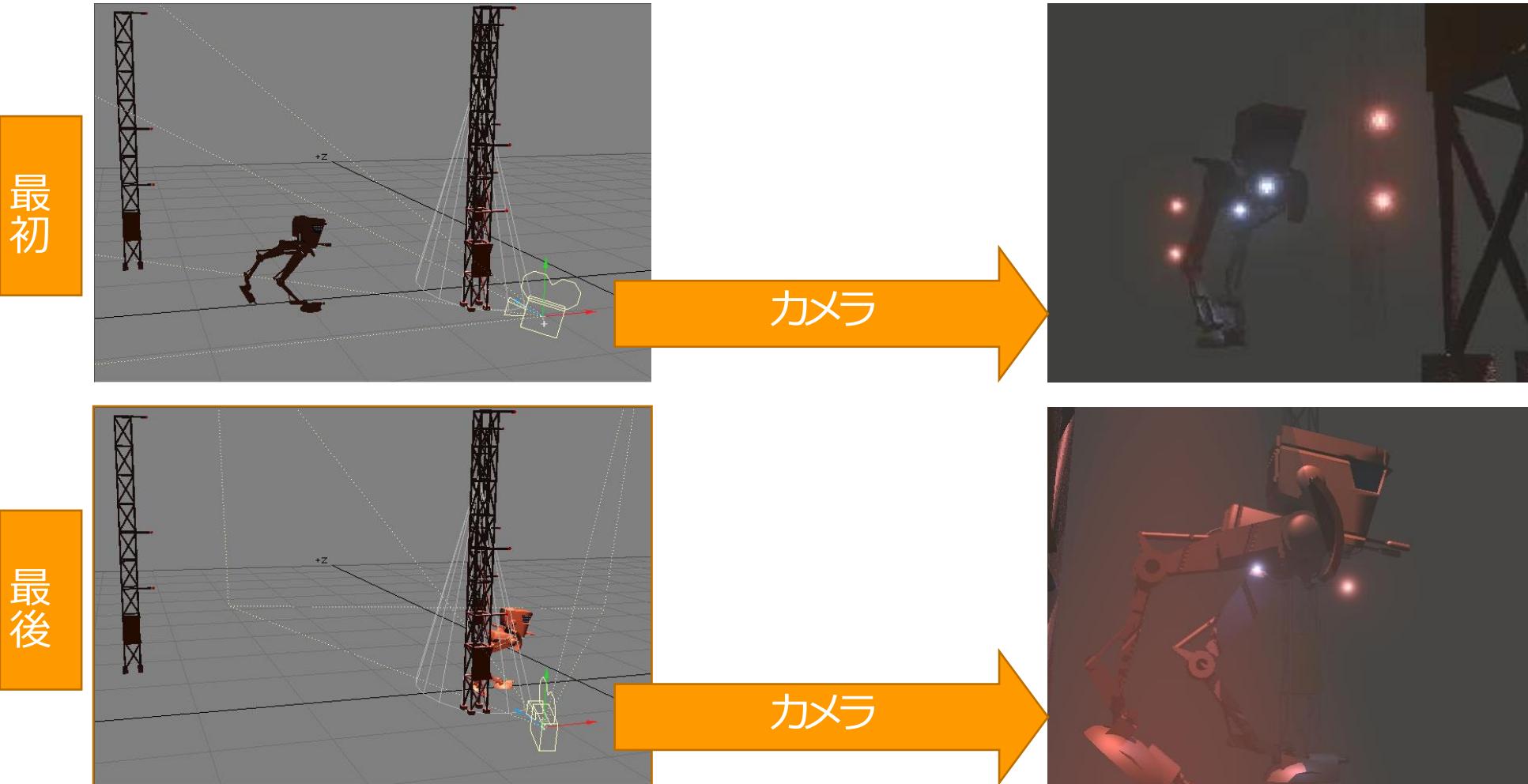
■ キーフレーム法

- 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、インビトゥーン）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



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

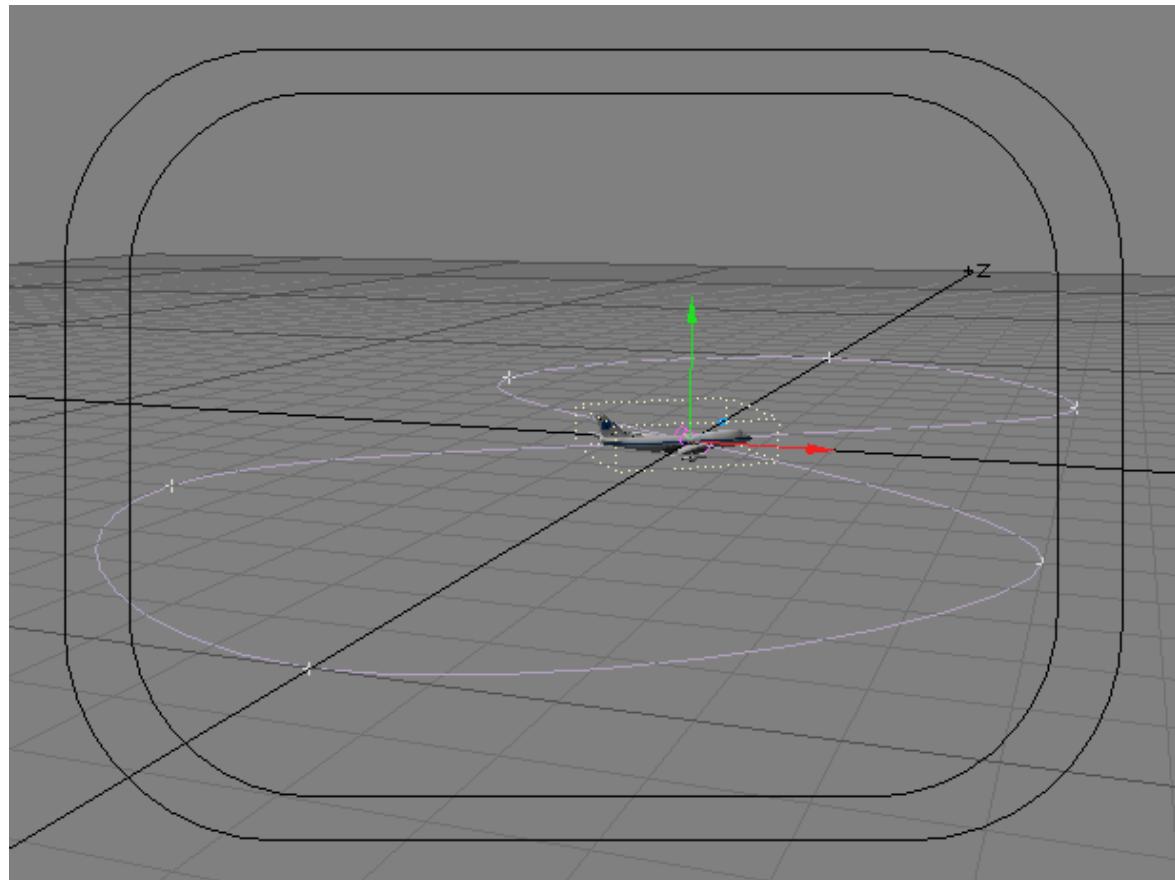
位置・回転・スケールのアニメーション



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



キーフレーム間を直線で補間

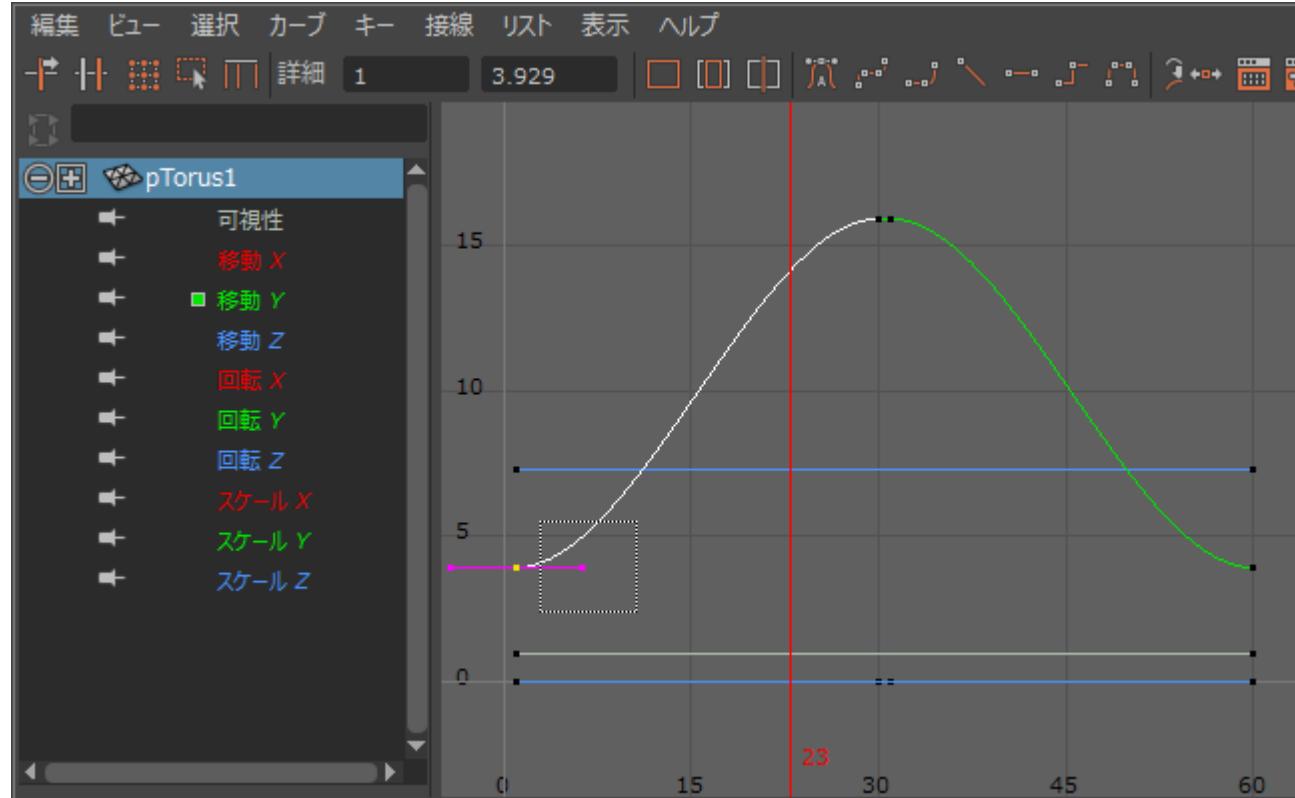
スプライン補間



キーフレーム間を曲線で補間

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

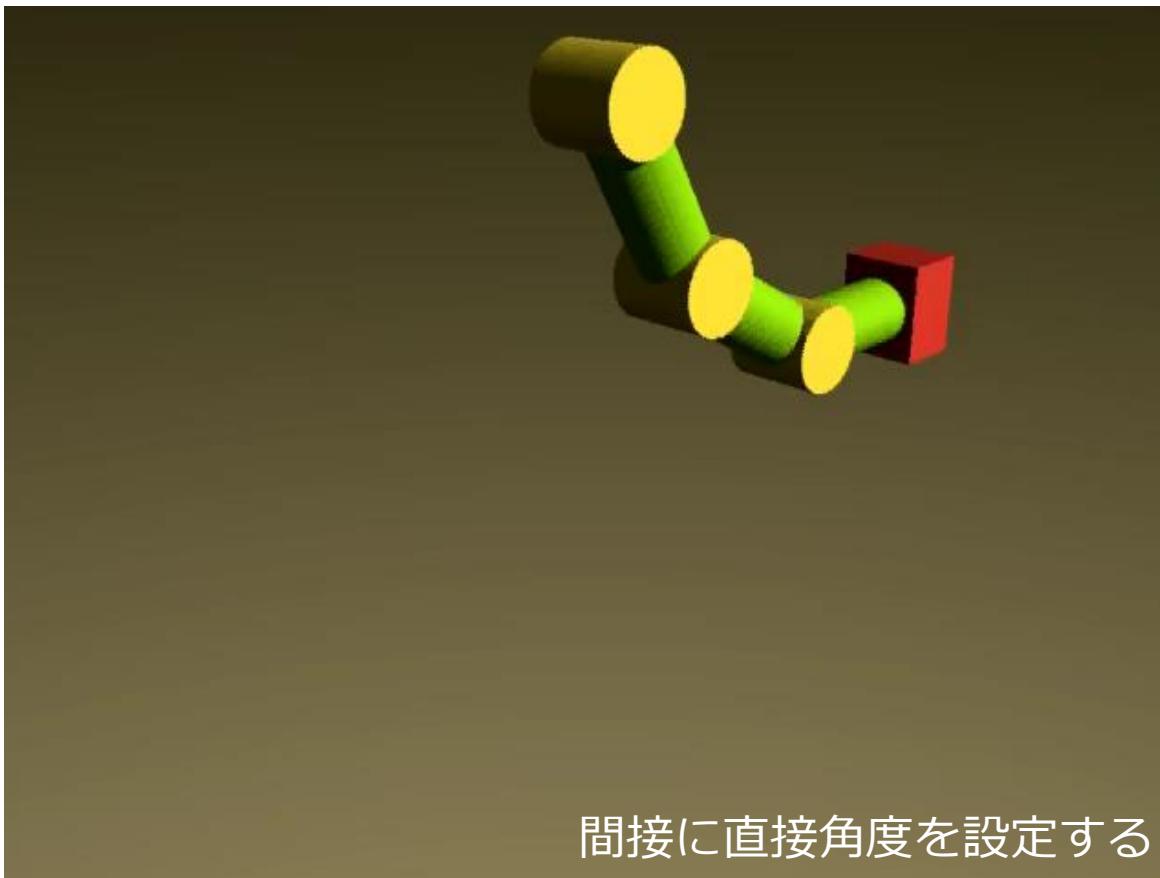
- モデルの形状を変形させてアニメーションを作る
 - スケルトン法とスキン変形
 - 3次元モーフィング
 - 関数による変形
 - デフォーメーション

多関節形状の変形

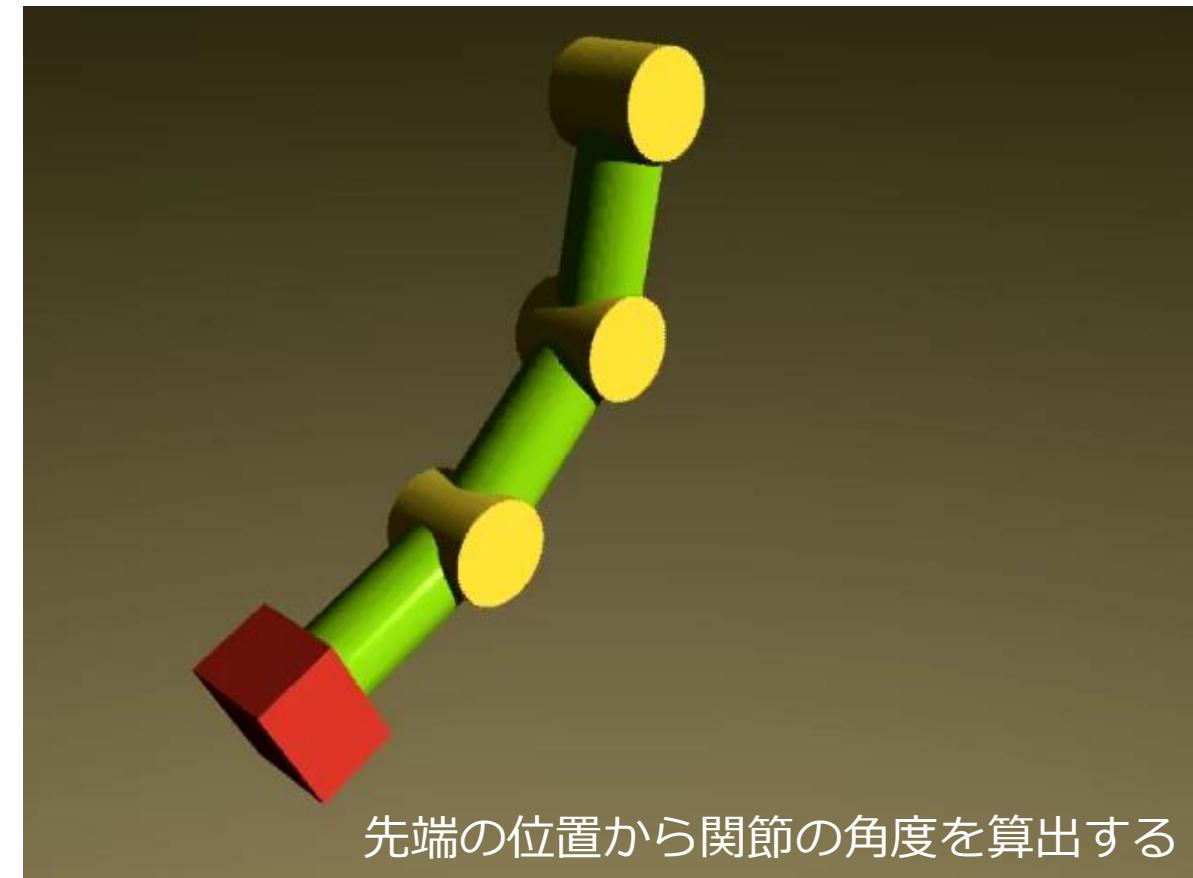
- 剛体同士を接続する関節部分の角度を変化させる
- フォワードキネマティクス (FK)
 - 各関節の角度を指定して動きを定義する
 - 末端（手先や足先など）の位置を決めるのは難しい
- インバースキネマティクス (IK)
 - 末端の位置を決めてから各関節の角度を自動的に計算する
 - 途中の関節が意図しないポーズにならないよう事前に拘束条件を設定しておく必要がある

間接の角度の設定方法

フォワード kinematics



インバース kinematics



スケルトン法とスキン変形

■ スケルトン法

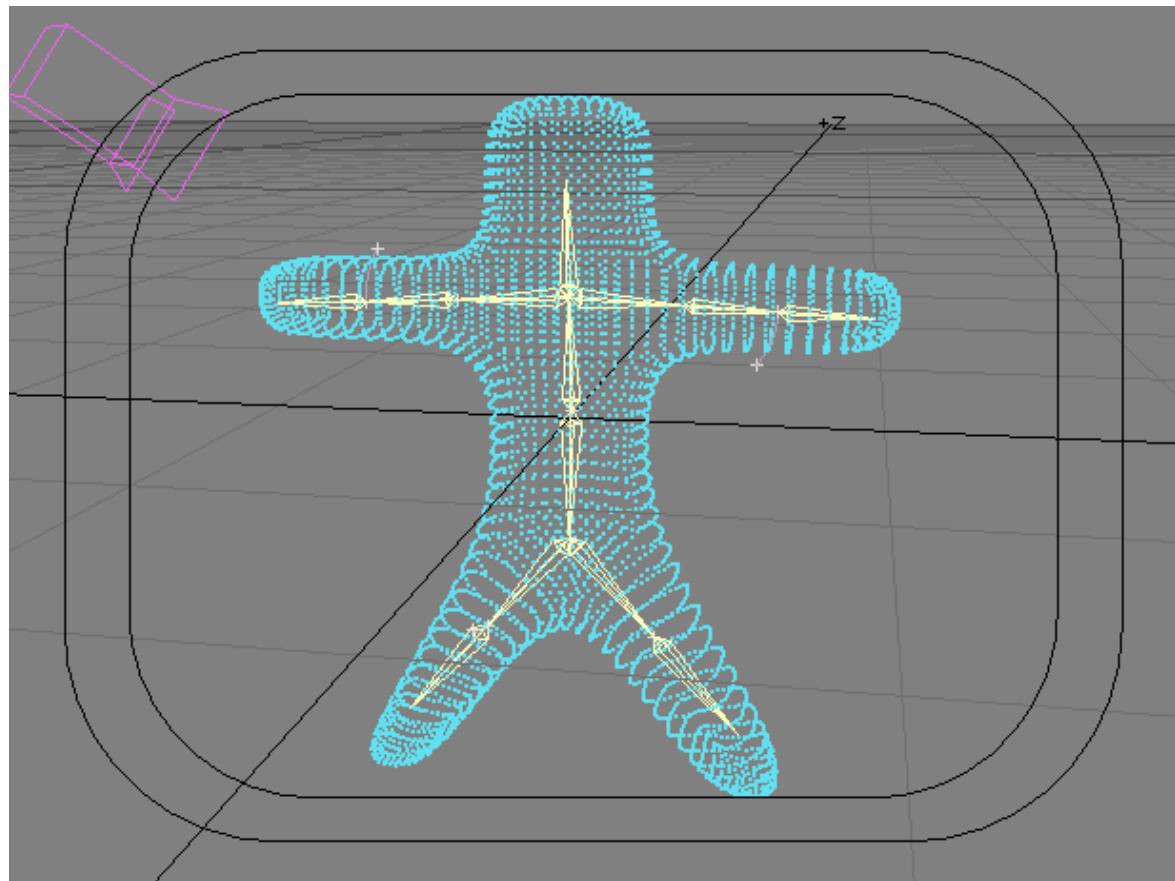
- モデルに仮想的な骨格（スケルトン、ボーン）を組み込んで、骨格の変形によりアニメーションを行う手法

■ スキン変形

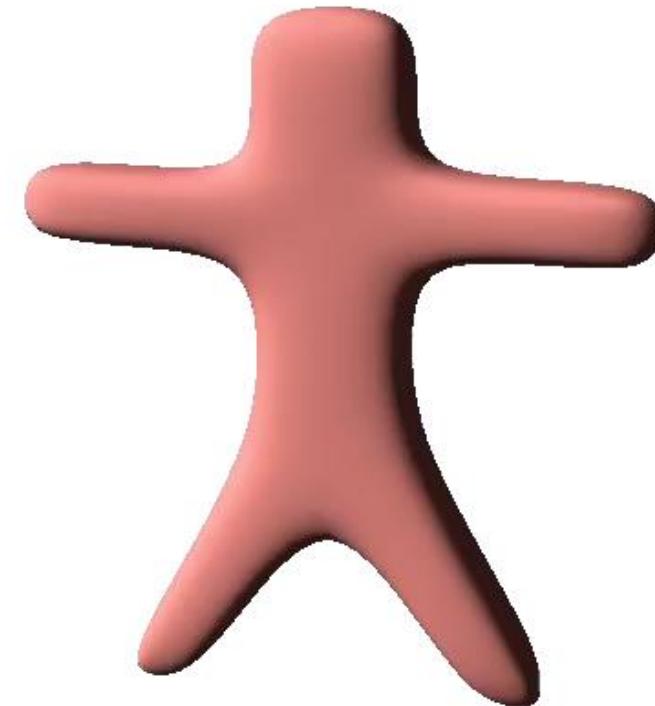
- モデルの外形を骨格の周囲にある皮膚のように変形させる手法

スケルトン法とスキン变形

ボーン



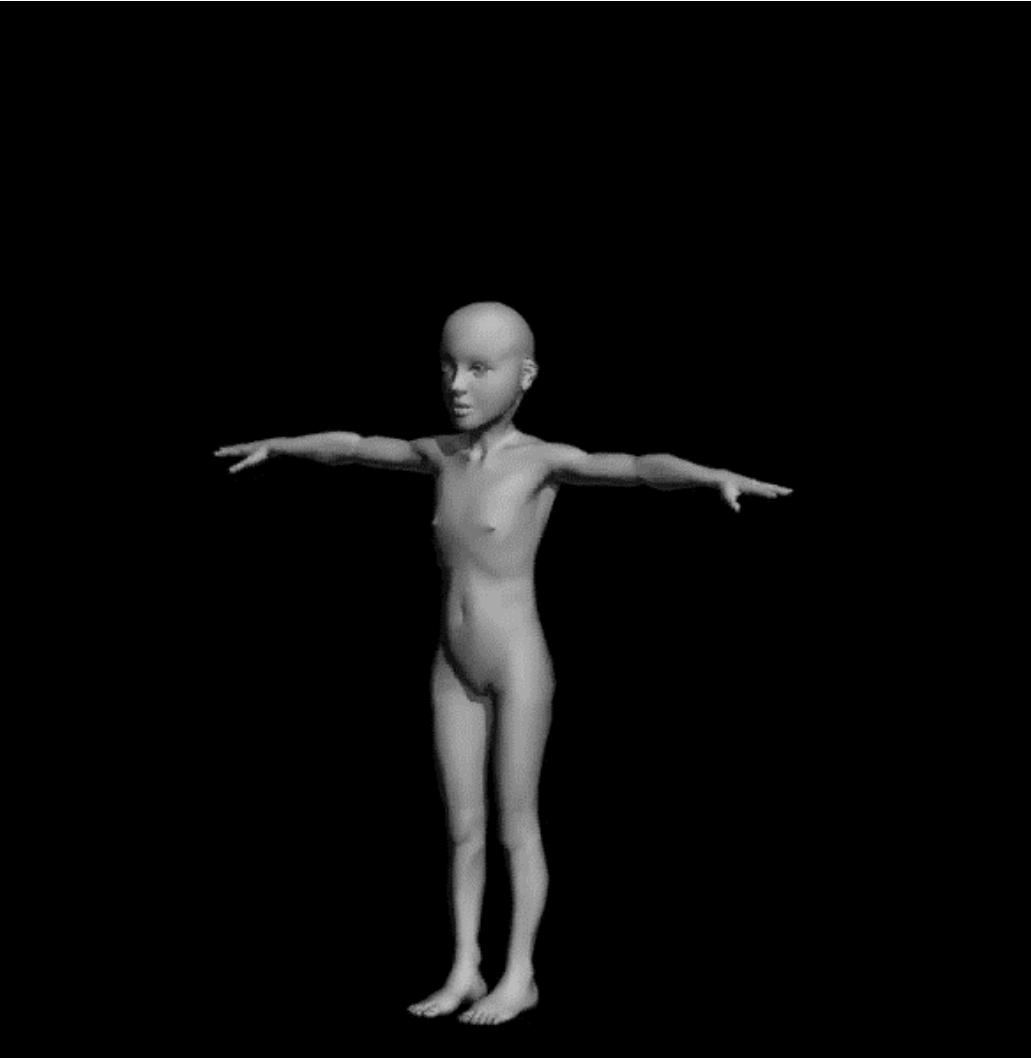
スキン变形（スキニング）



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



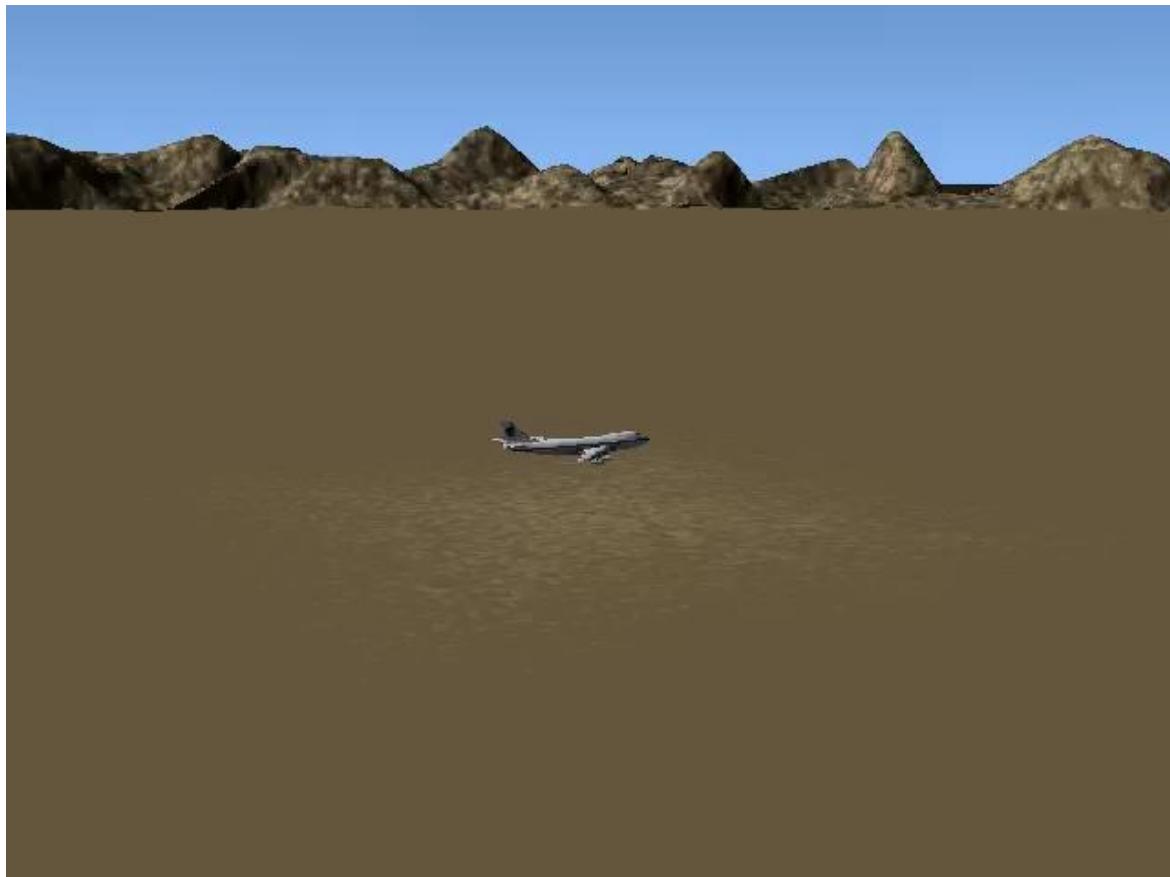
オブジェクトを「ねじる」

カメラのアニメーション

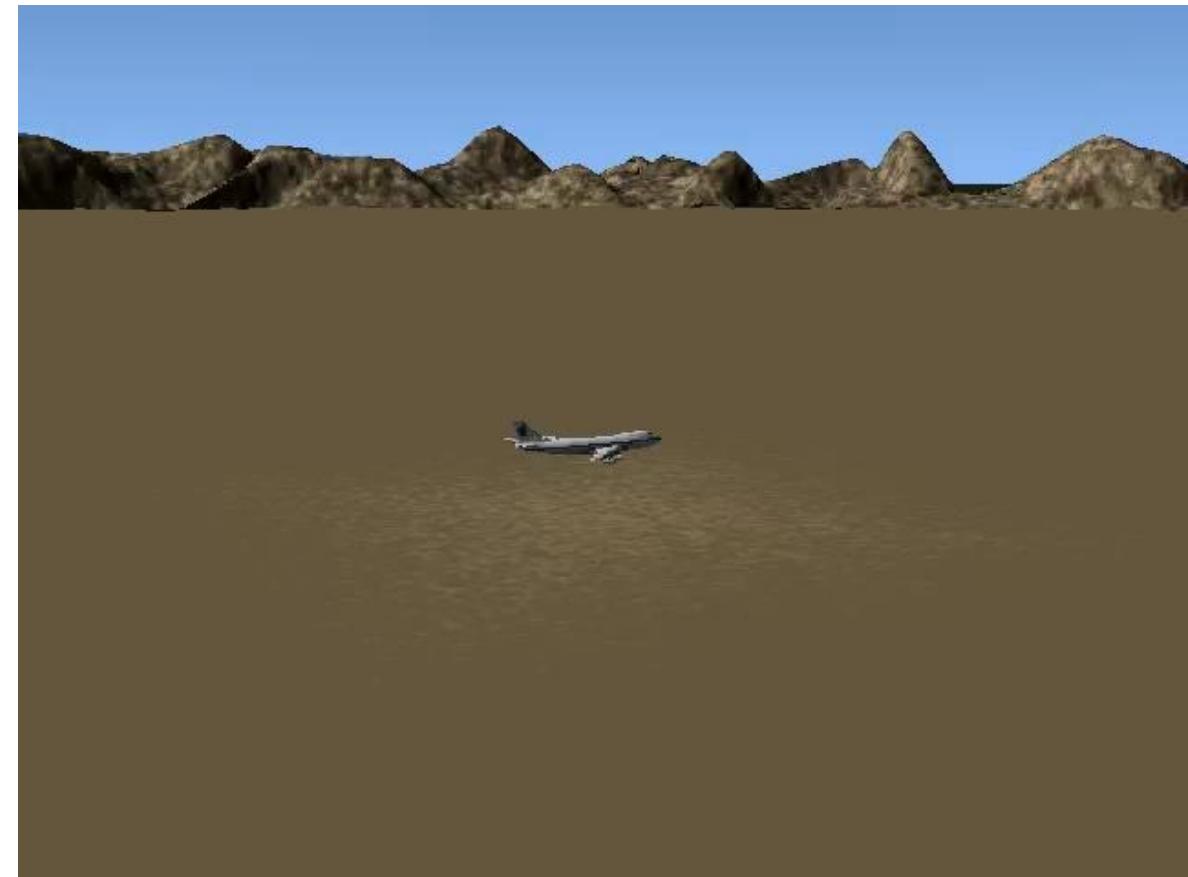
- CGのカメラは現実のカメラよりも自由度が高い
 - 違いをよく理解しておく必要がある
- カメラの向きの決定方法
 - カメラ自身の向きを設定する
 - カメラの目標（ターゲット）位置を設定する
- カメラと階層構造
 - カメラやターゲットを階層構造と組み合わせる
- カメラとパスアニメーション
 - カメラをパス（経路）に沿って移動させる

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

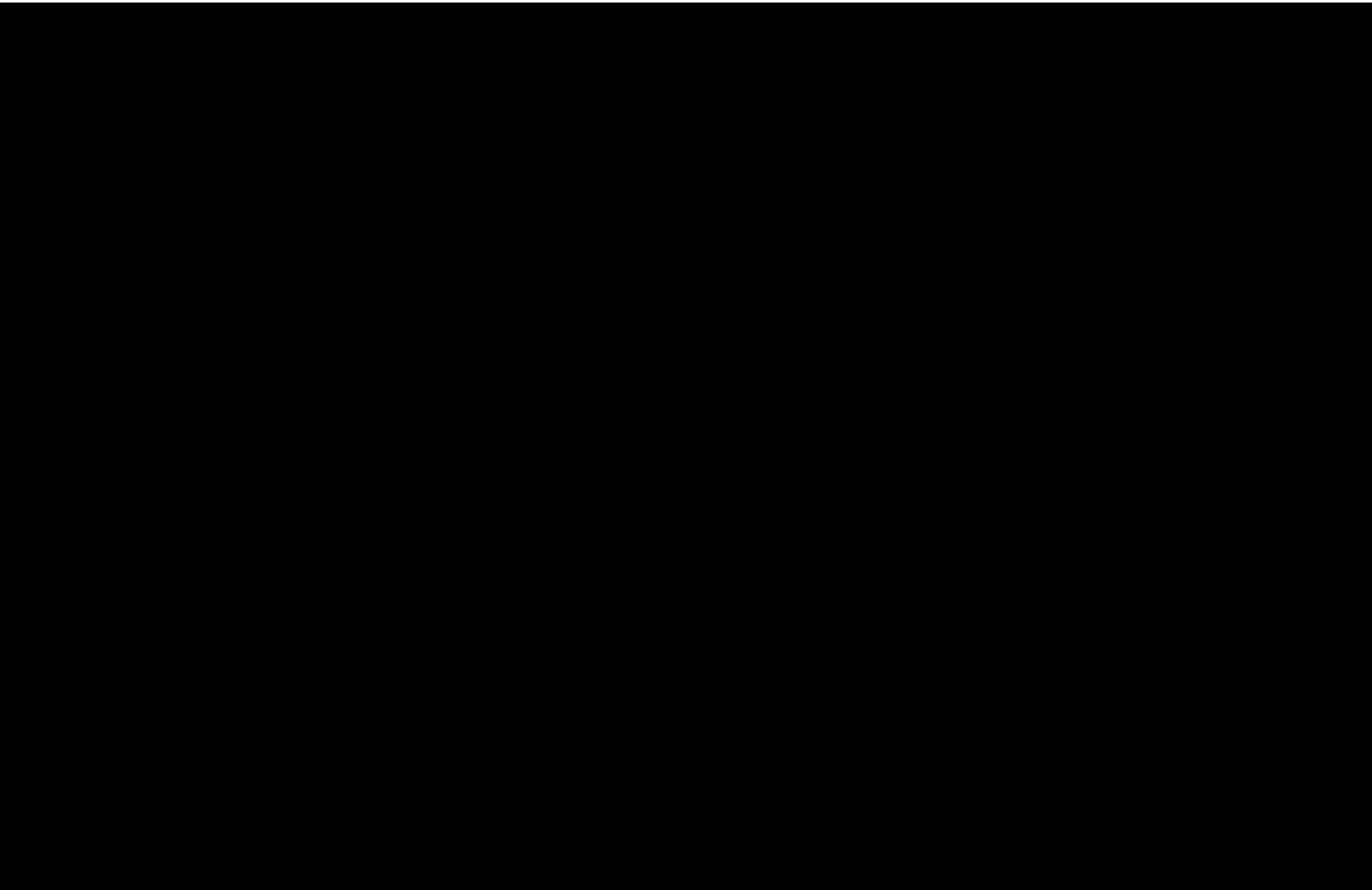
■ ライト

- 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

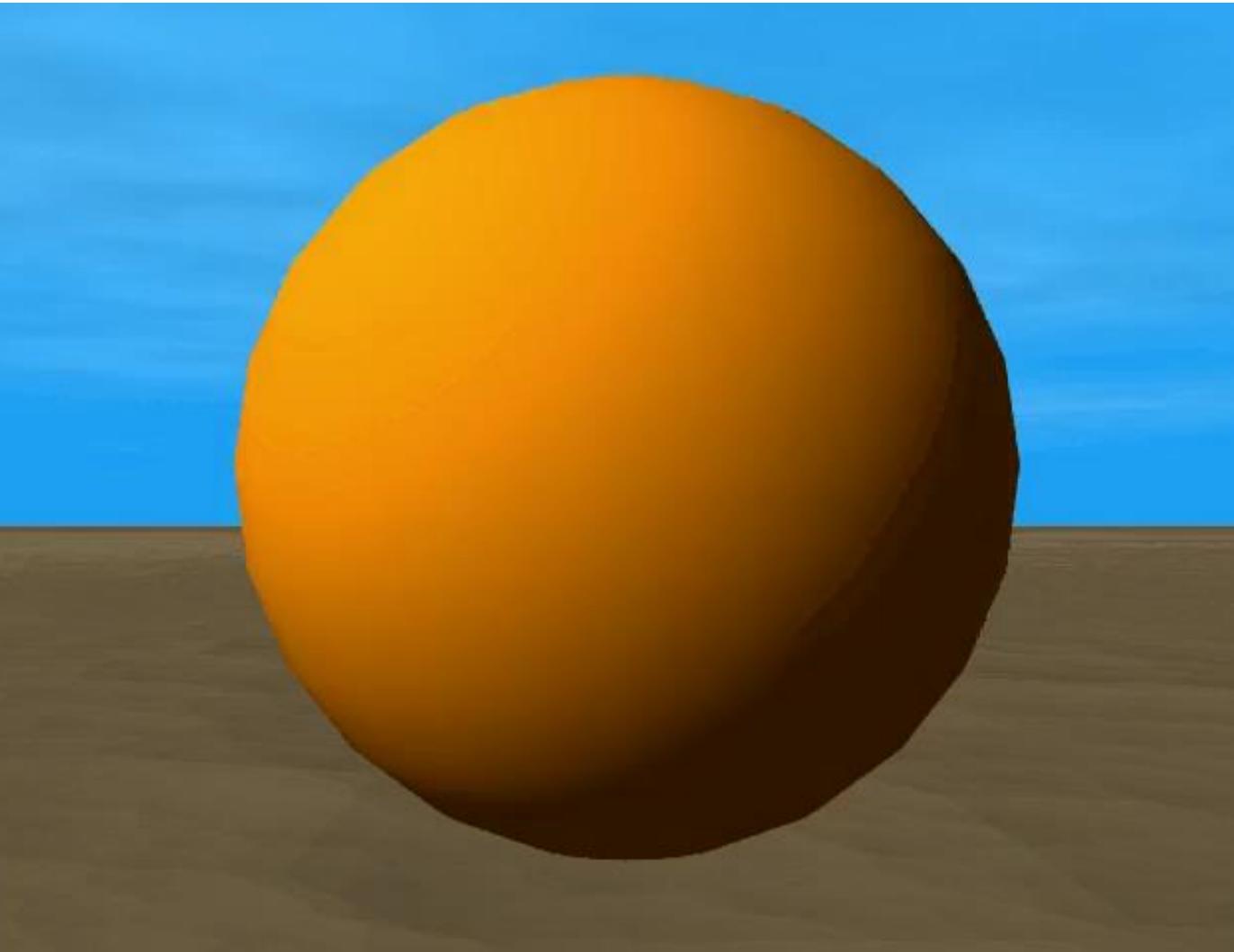
■ マテリアル

- 物体の色, 材質 (質感) を時間とともに変化させる

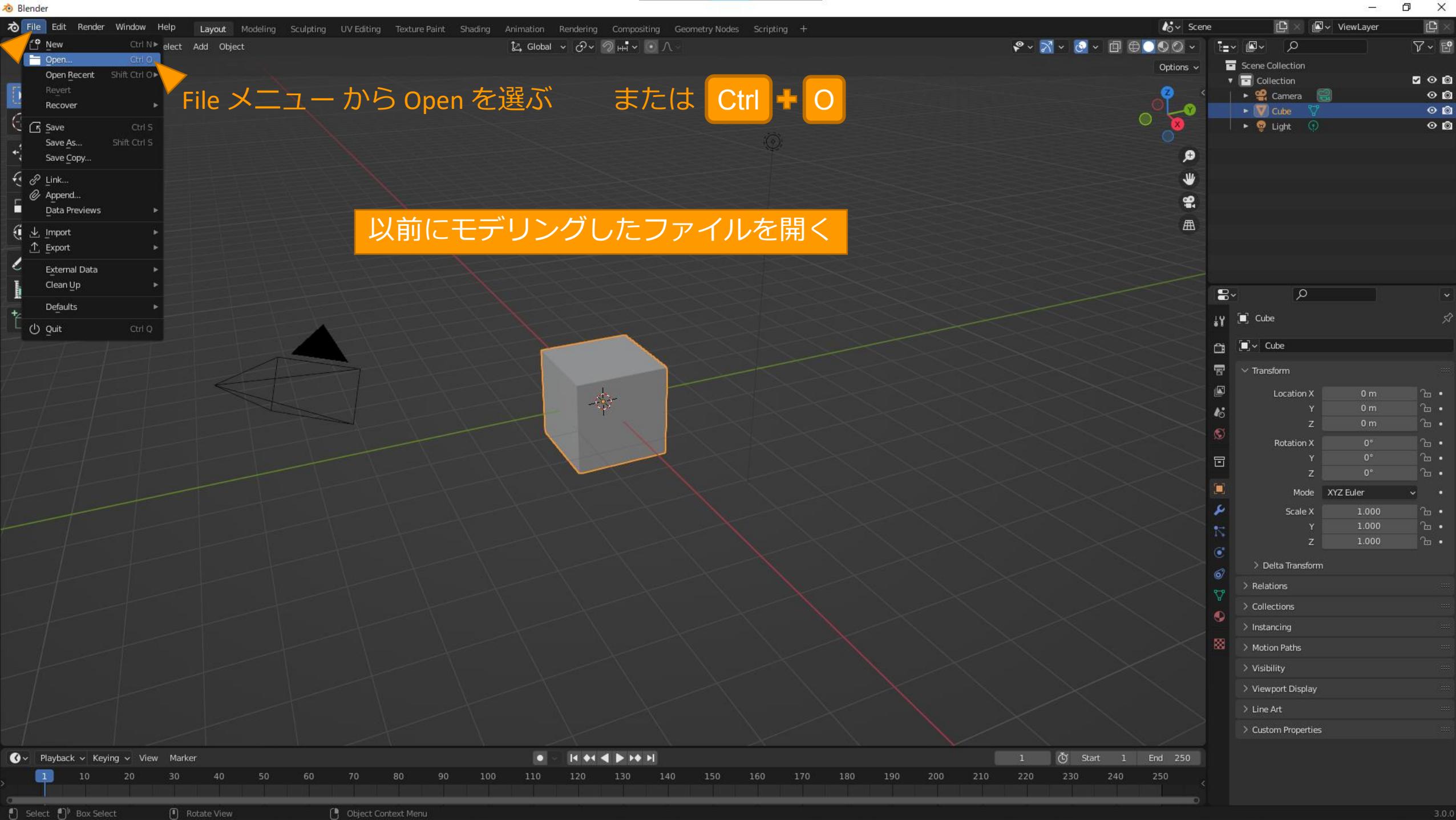
ライトのアニメーション

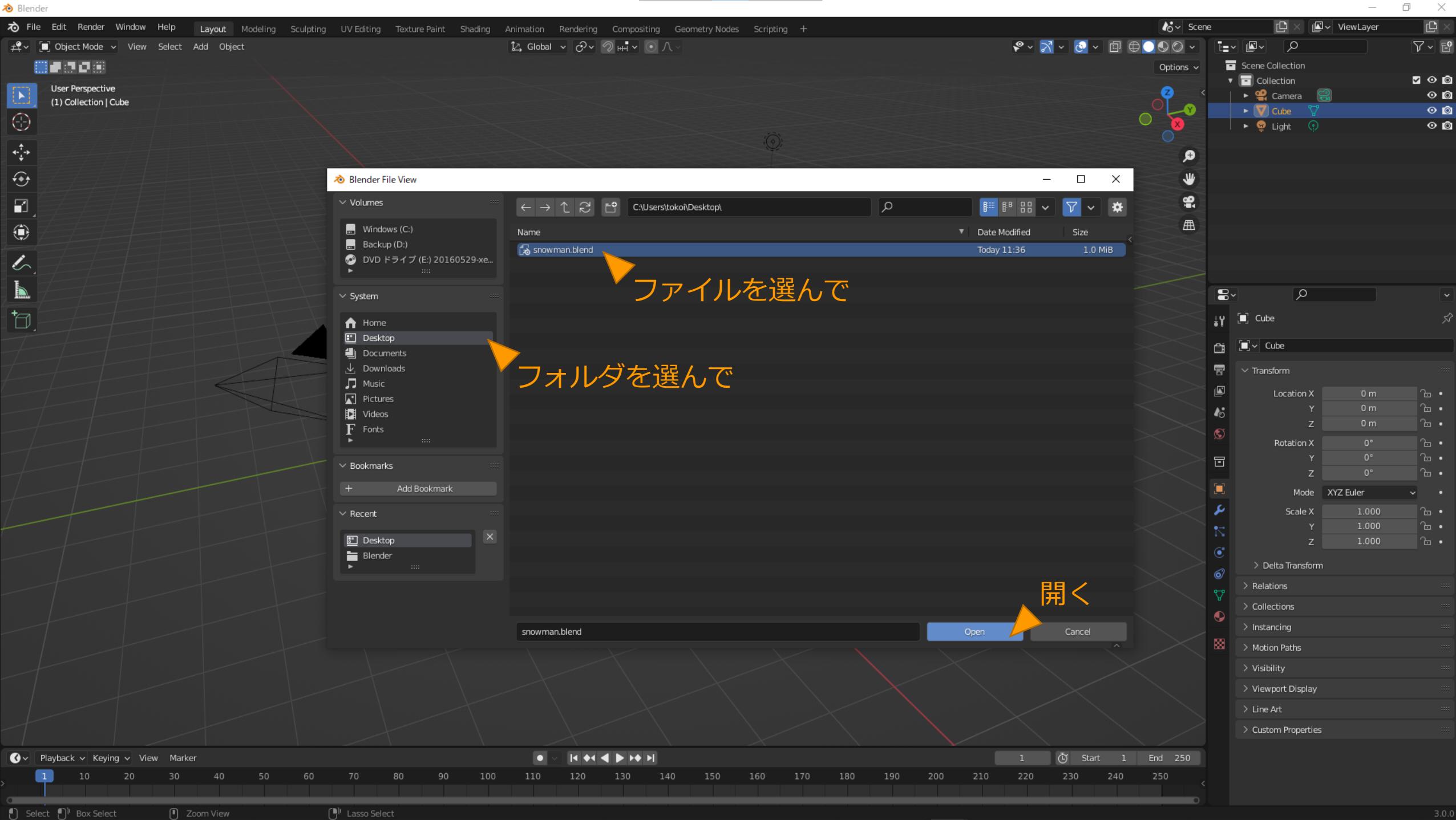


マテリアルのアニメーション



キーフレームアニメーション





File Edit Render Window Help Layout Modeling Sculpting UV Editing Texture Paint Shading Animation Rendering Compositing Geometry Nodes Scripting +

Normal View

Object Mode View Select Add Object

Scene Options

Transform

Location:

X	2.7089 m
Y	-2.5658 m
Z	2.6083 m

Rotation:

X	63.6°
Y	0°
Z	46.7°

XYZ Euler

X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Scale:

X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Camera Perspective
(1) Collection | Camera

Scene Collection

Collection

- Camera
- Cone
- Cylinder
- Cylinder.001
- Light
- Plane
- Sphere

Camera

Transform

Location X	2.7089 m
Y	-2.5658 m
Z	2.6083 m

Rotation X	63.6°
Y	0°
Z	46.7°

Mode	XYZ Euler
------	-----------

Scale X	1.000
Y	1.000
Z	1.000

Delta Transform

Relations

Collections

Motion Paths

Visibility

Viewport Display

Custom Properties

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 1 End 250

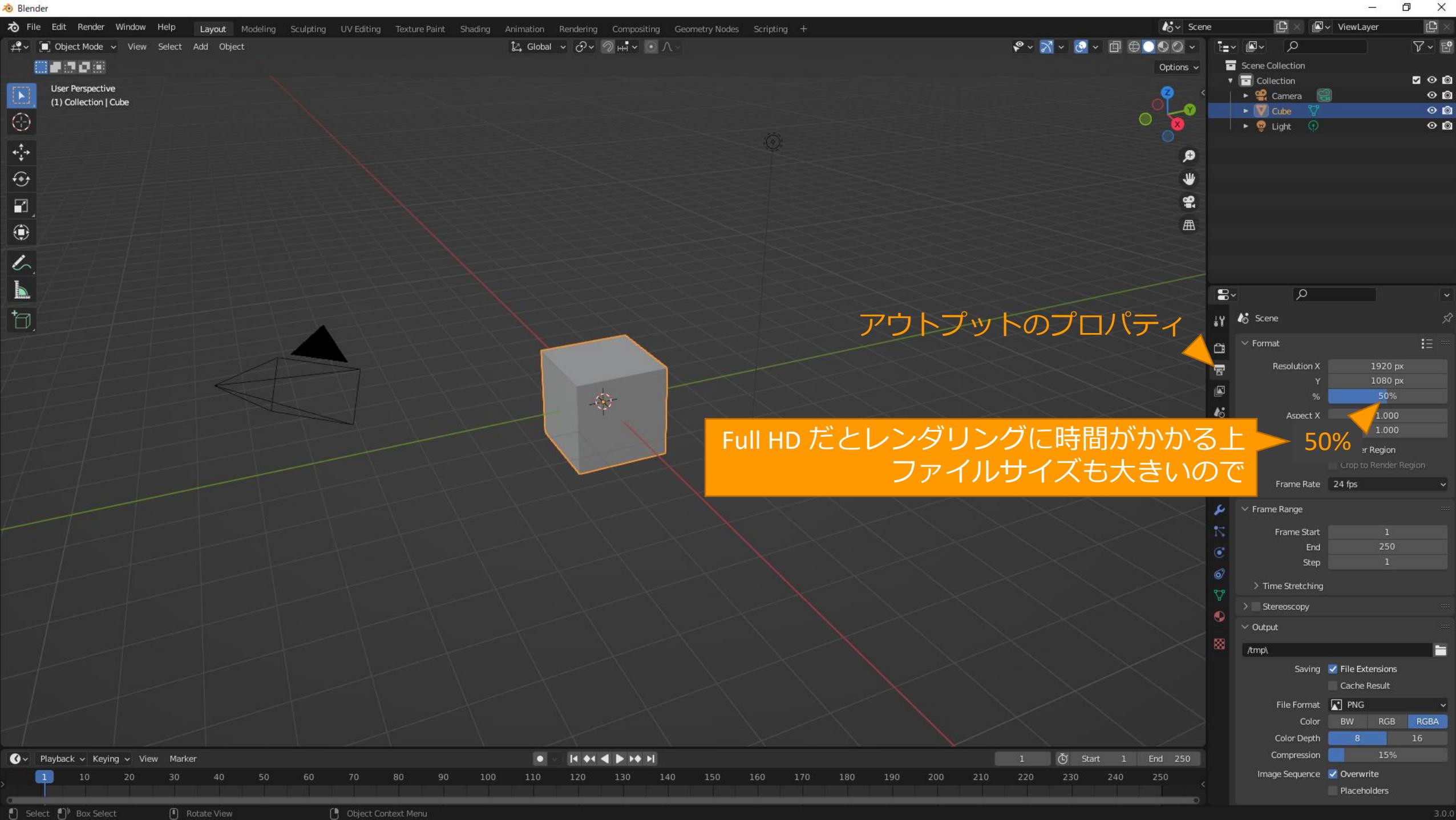
1 Start 1 End 250

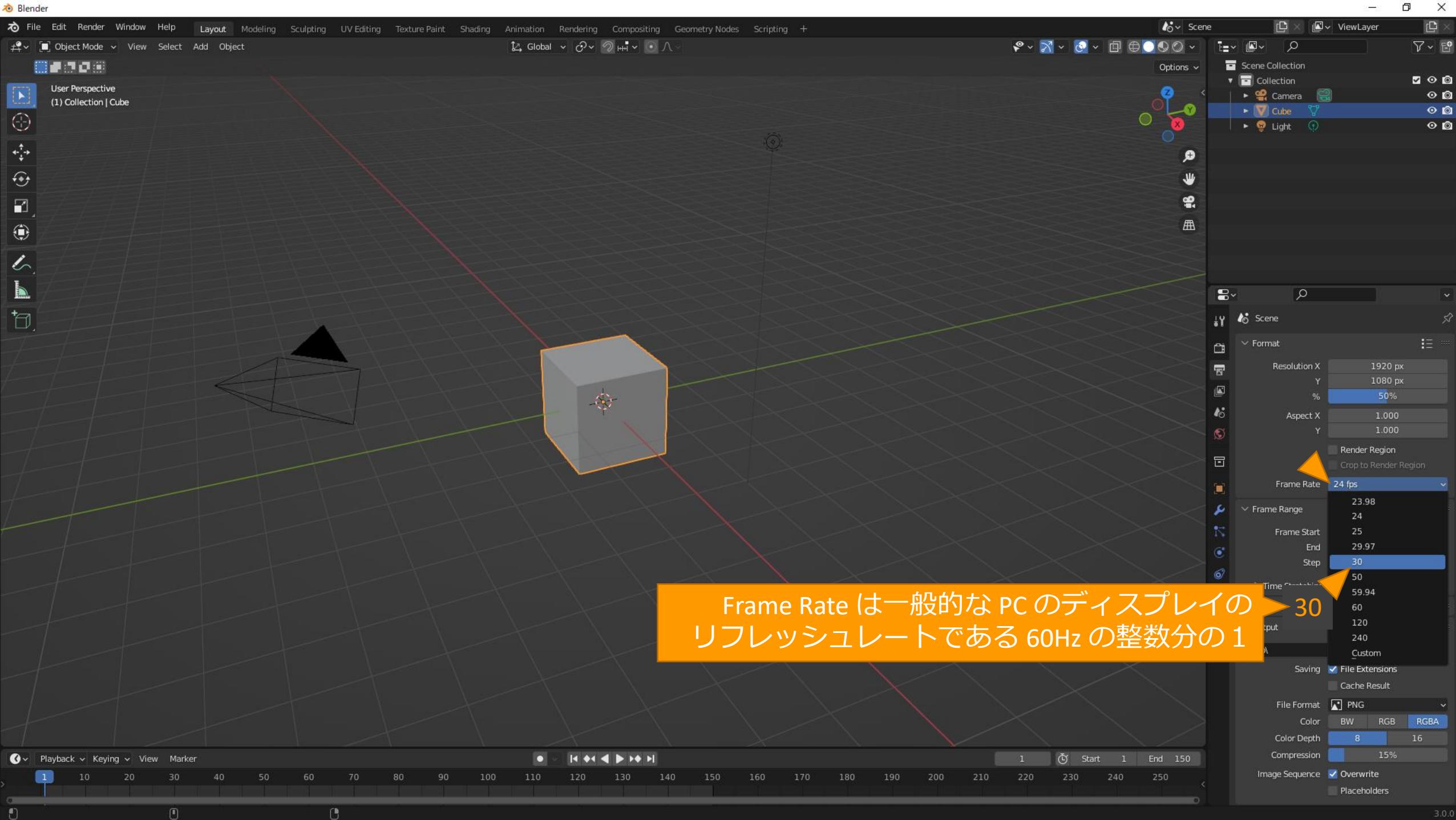
3.00

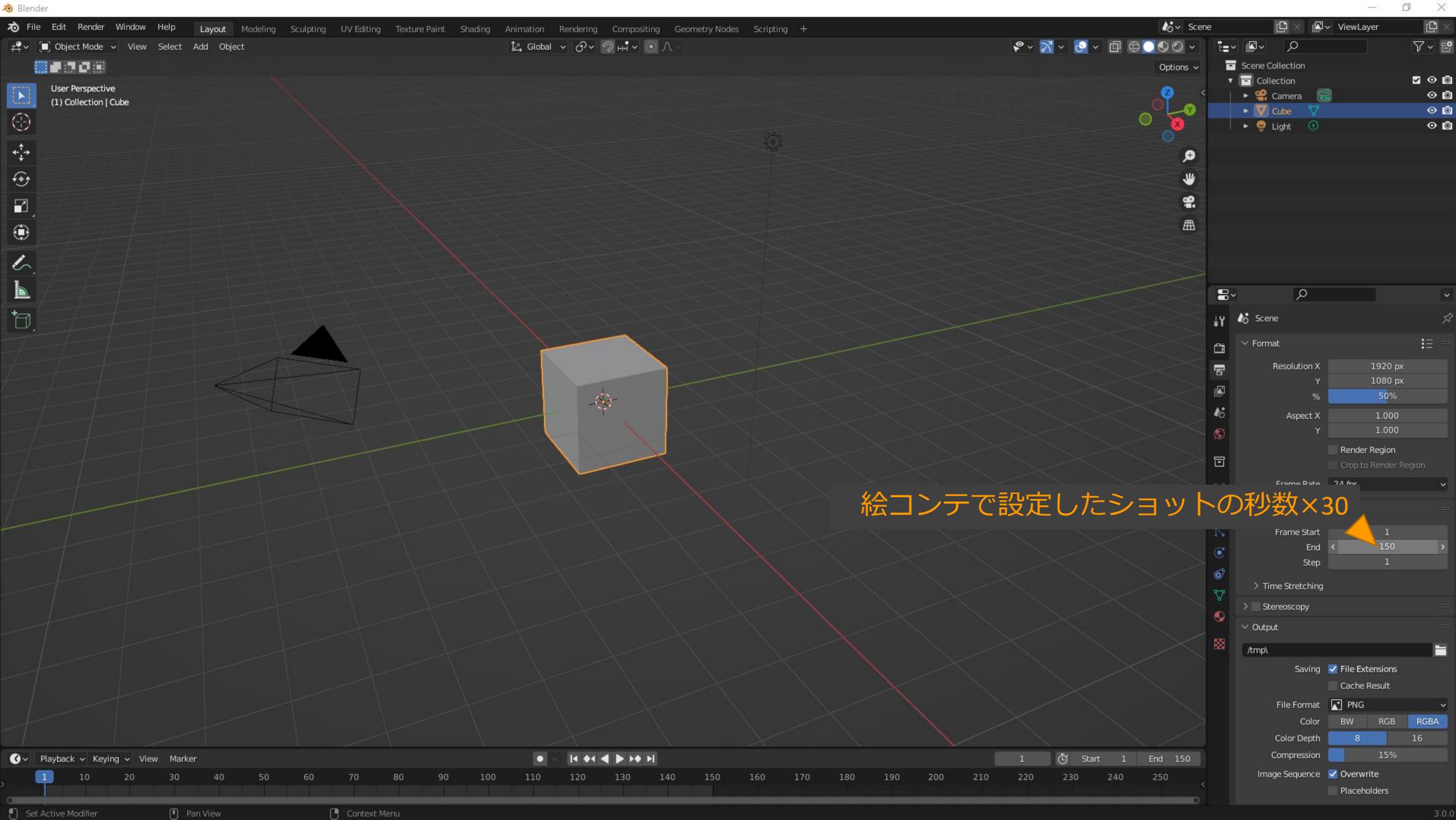
The image shows a 3D rendering of a snowman model in the Blender 3D Viewport. The snowman is composed of three stacked spheres of decreasing size, with a small cylinder for a hat and a cone for a nose. It is positioned within a camera's field of view, indicated by a red dashed border. The 3D Viewport shows a wireframe grid background. The Outliner panel on the right lists scene objects like Camera, Cone, Cylinder, etc. The Properties panel shows the camera's transform settings: Location (X: 2.7089 m, Y: -2.5658 m, Z: 2.6083 m), Rotation (X: 63.6°, Y: 0°, Z: 46.7°), and Scale (X: 1.000, Y: 1.000, Z: 1.000). The Timeline at the bottom shows frame 1 is selected.

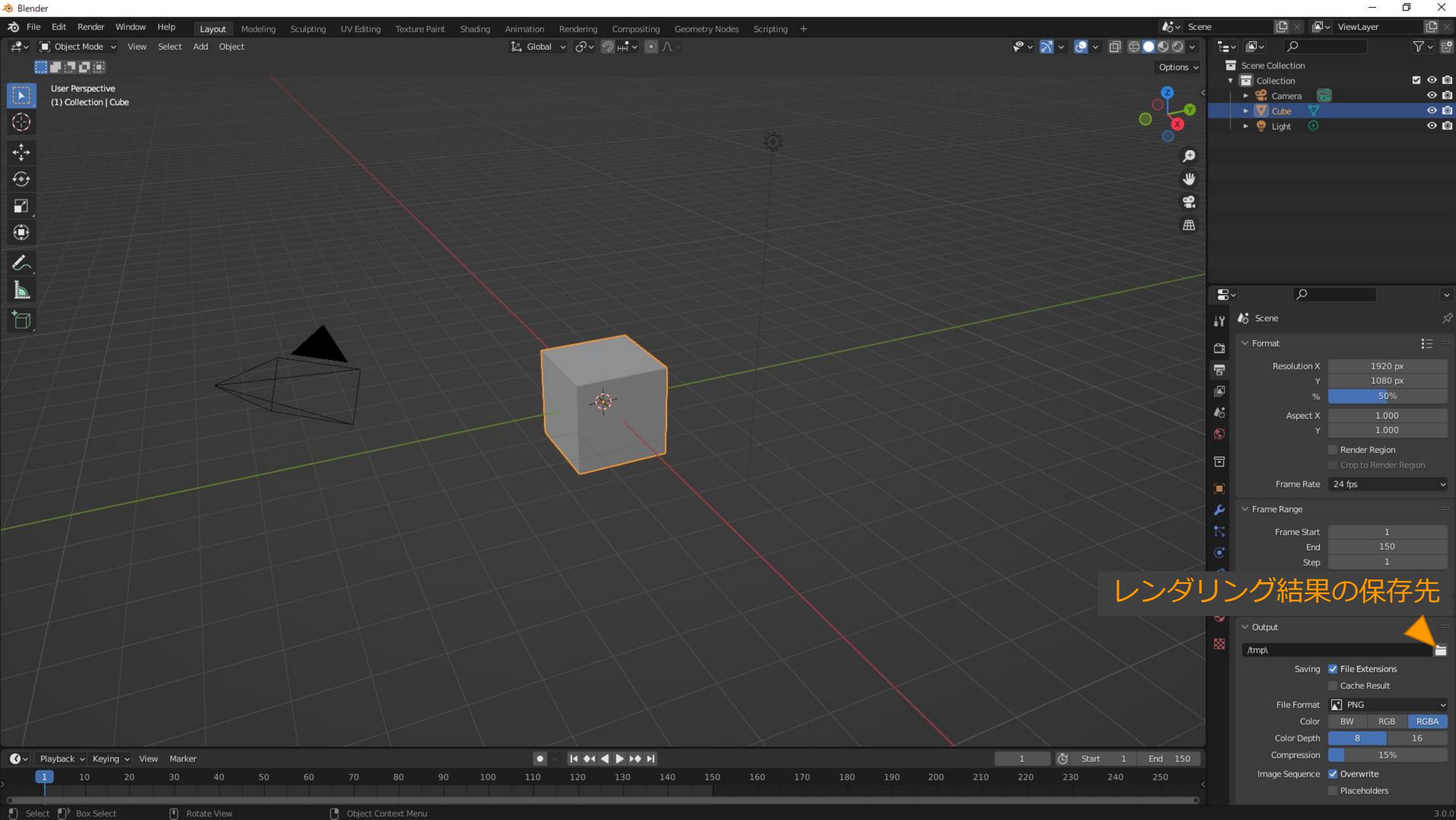
出力の設定

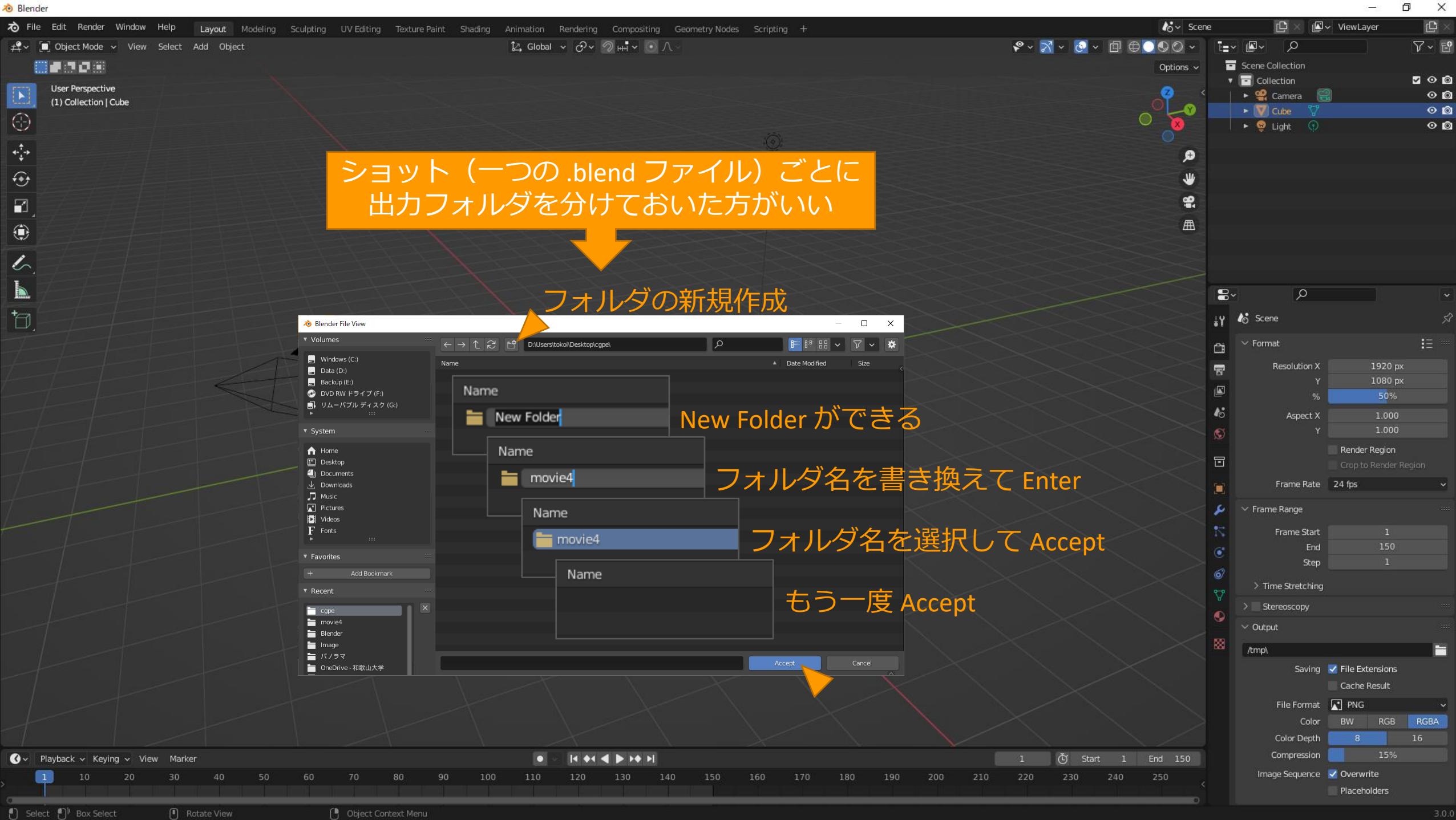
提出するムービーを作成するときは必ずこの設定を行ってください

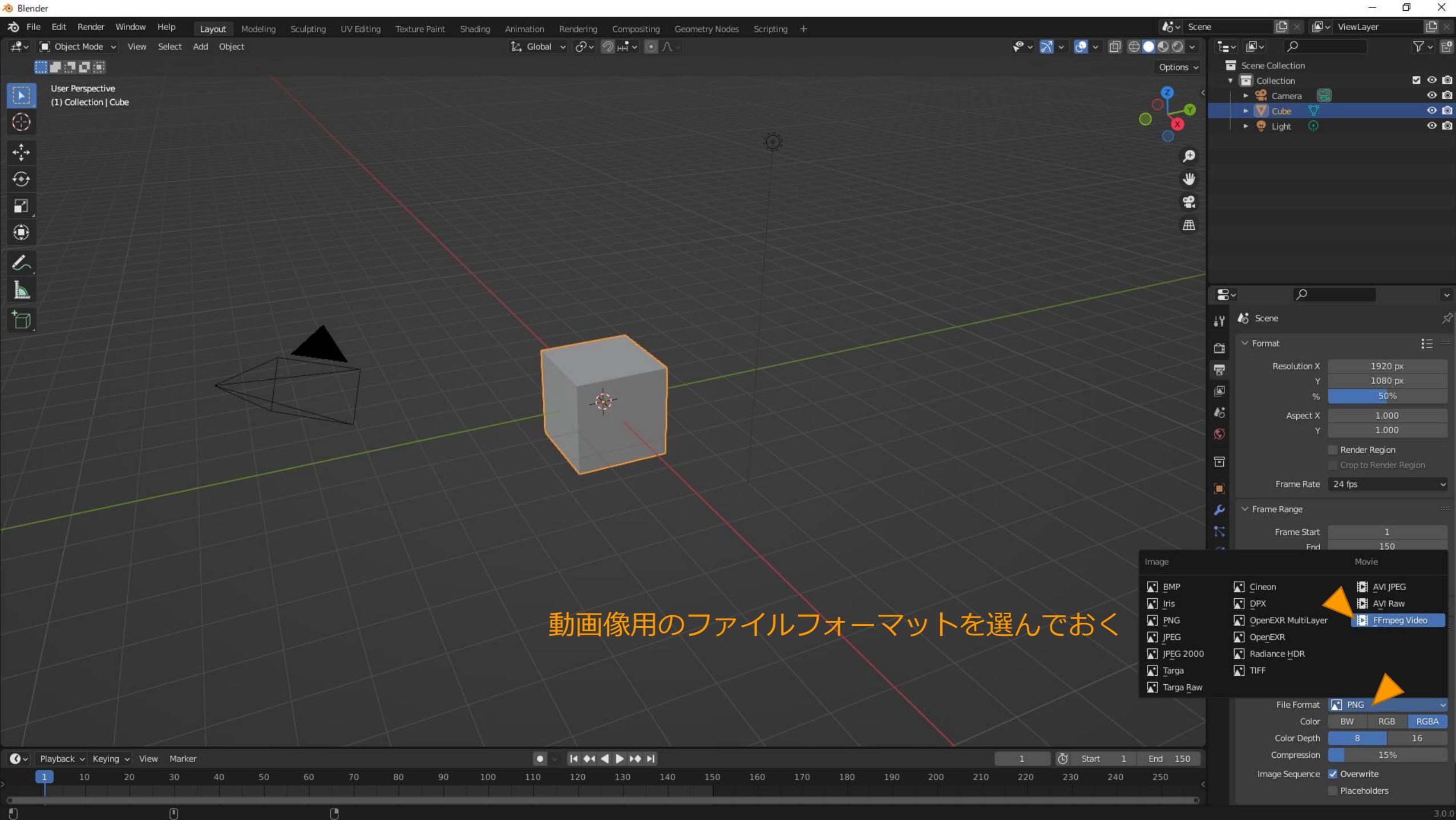












動画像用のファイルフォーマットについて

- 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必要がある
- この演習は動画像用ファイルフォーマットで出力する

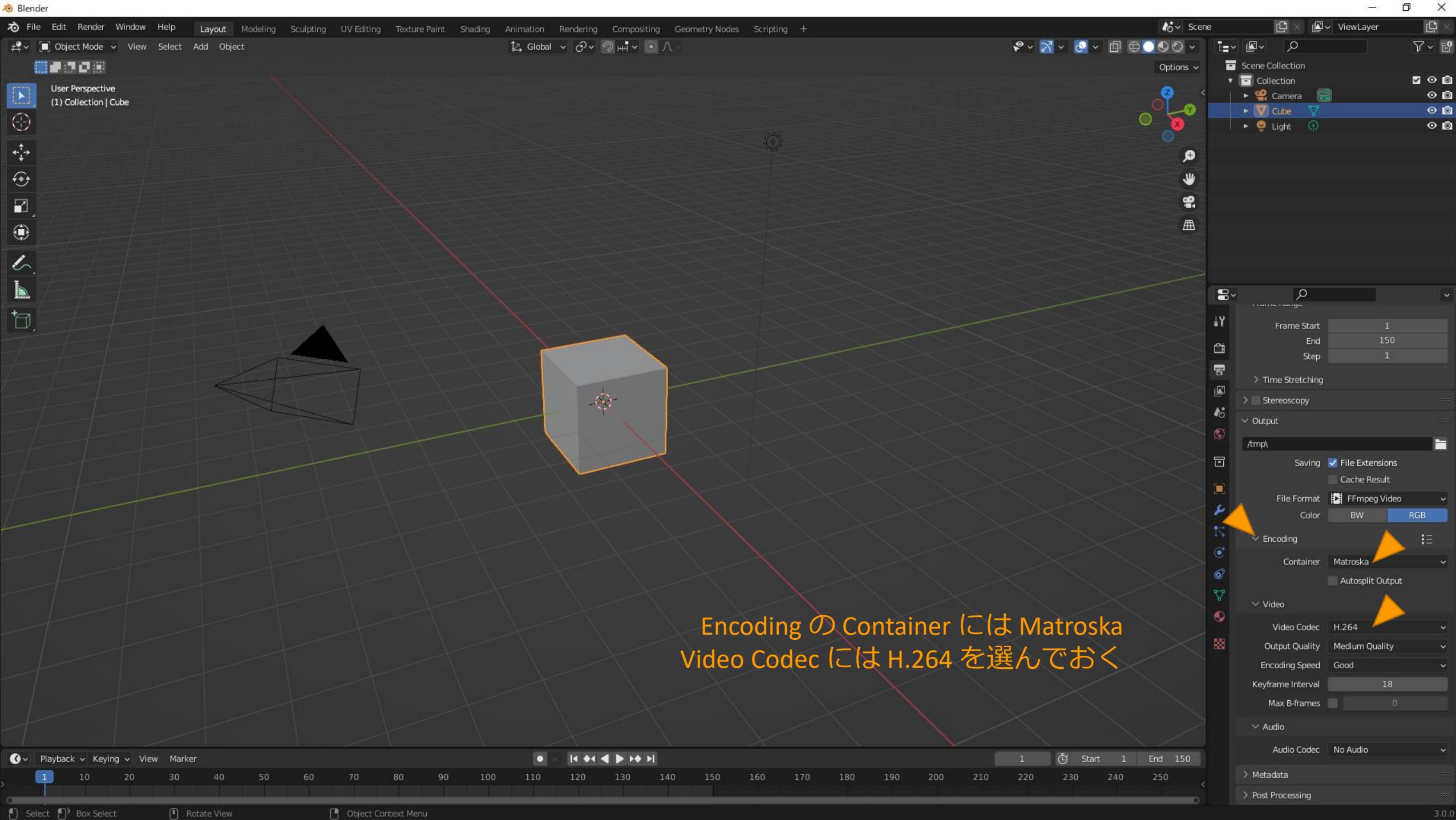
AVI と FFmpeg video

■ 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

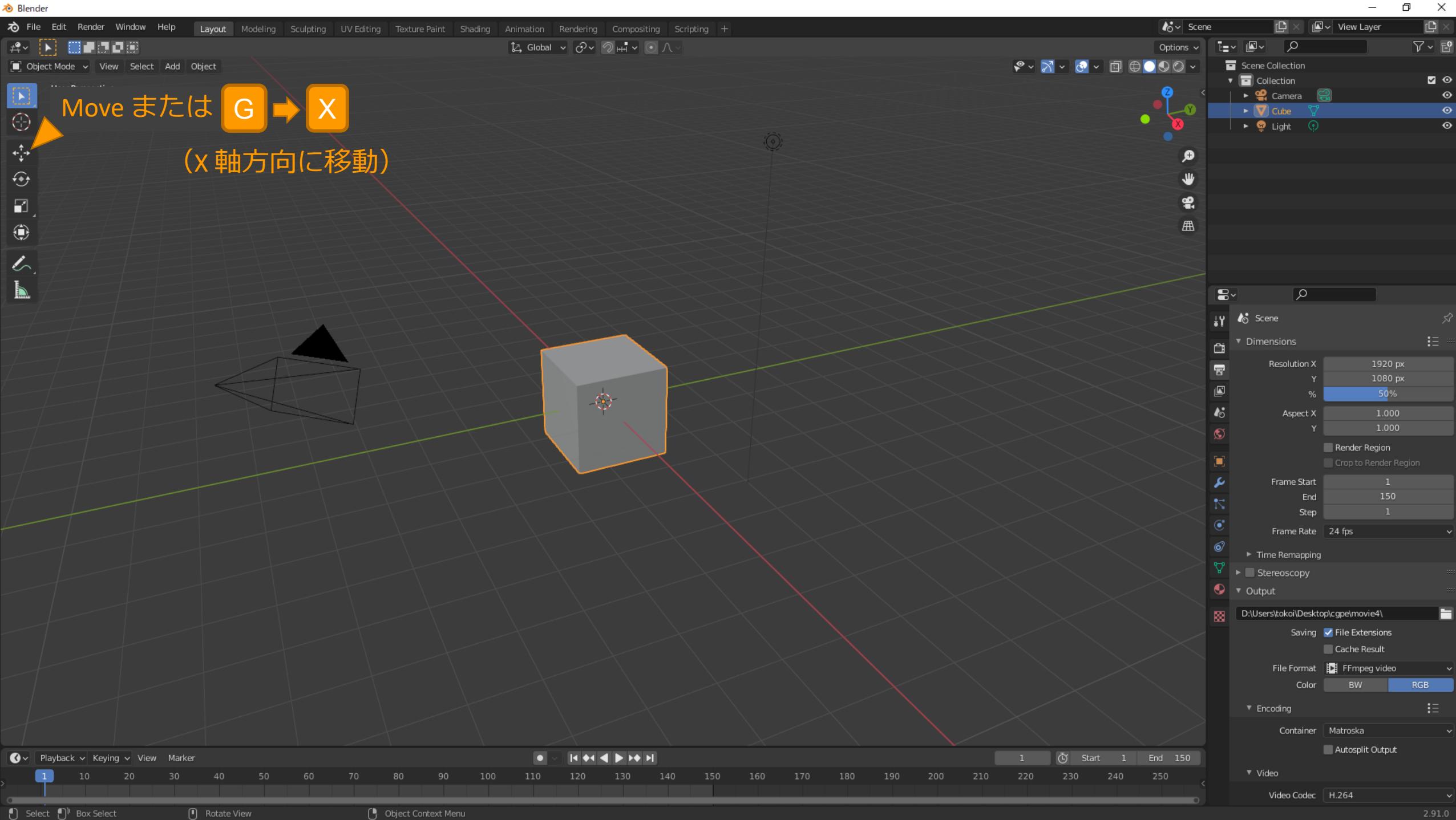
■ FFmpeg video

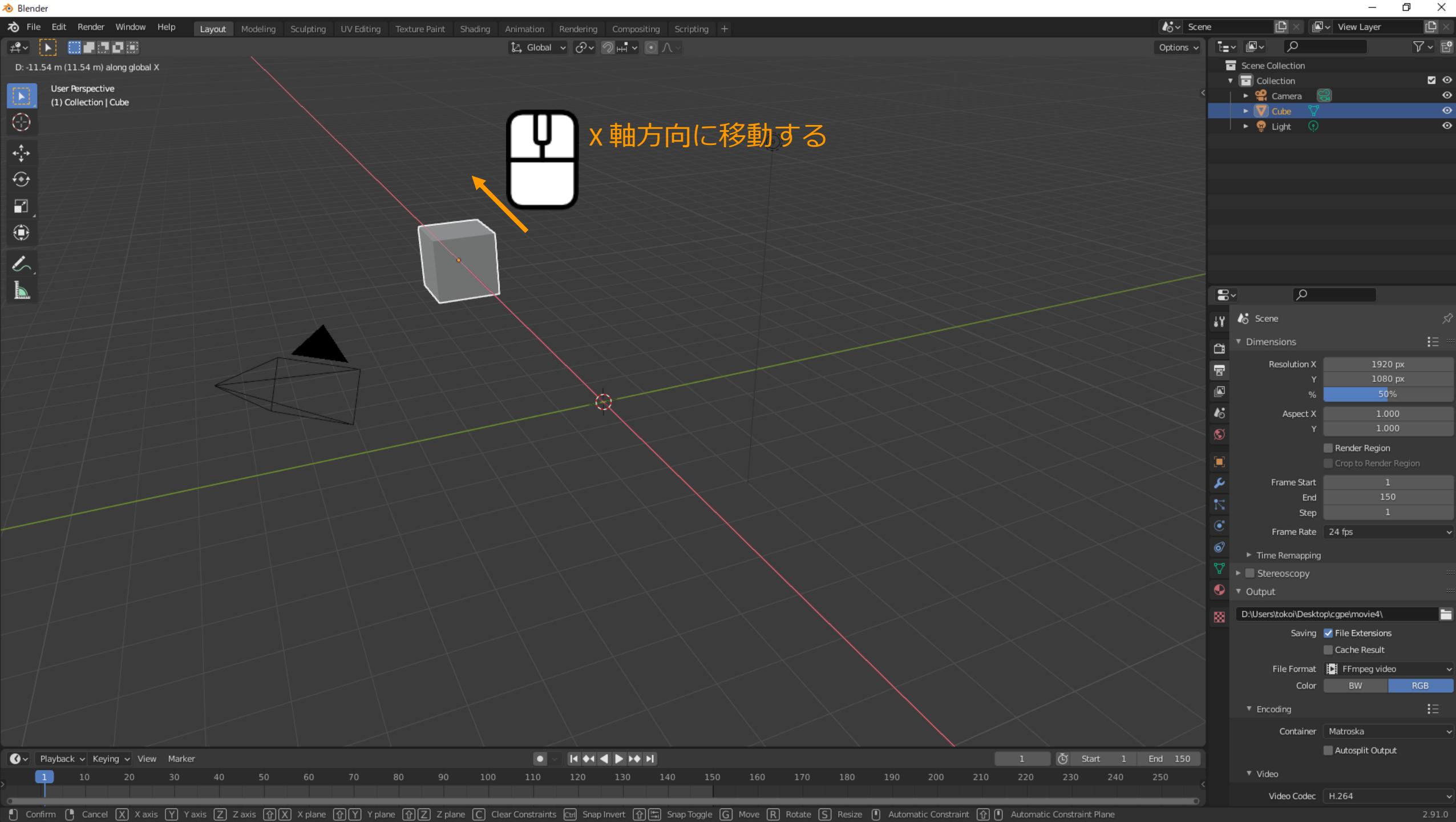
- FFmpeg は動画像・音声処理オープンソースソフトウェア
- FFmpeg を介して多様なコンテナ・コーデックに対応可能

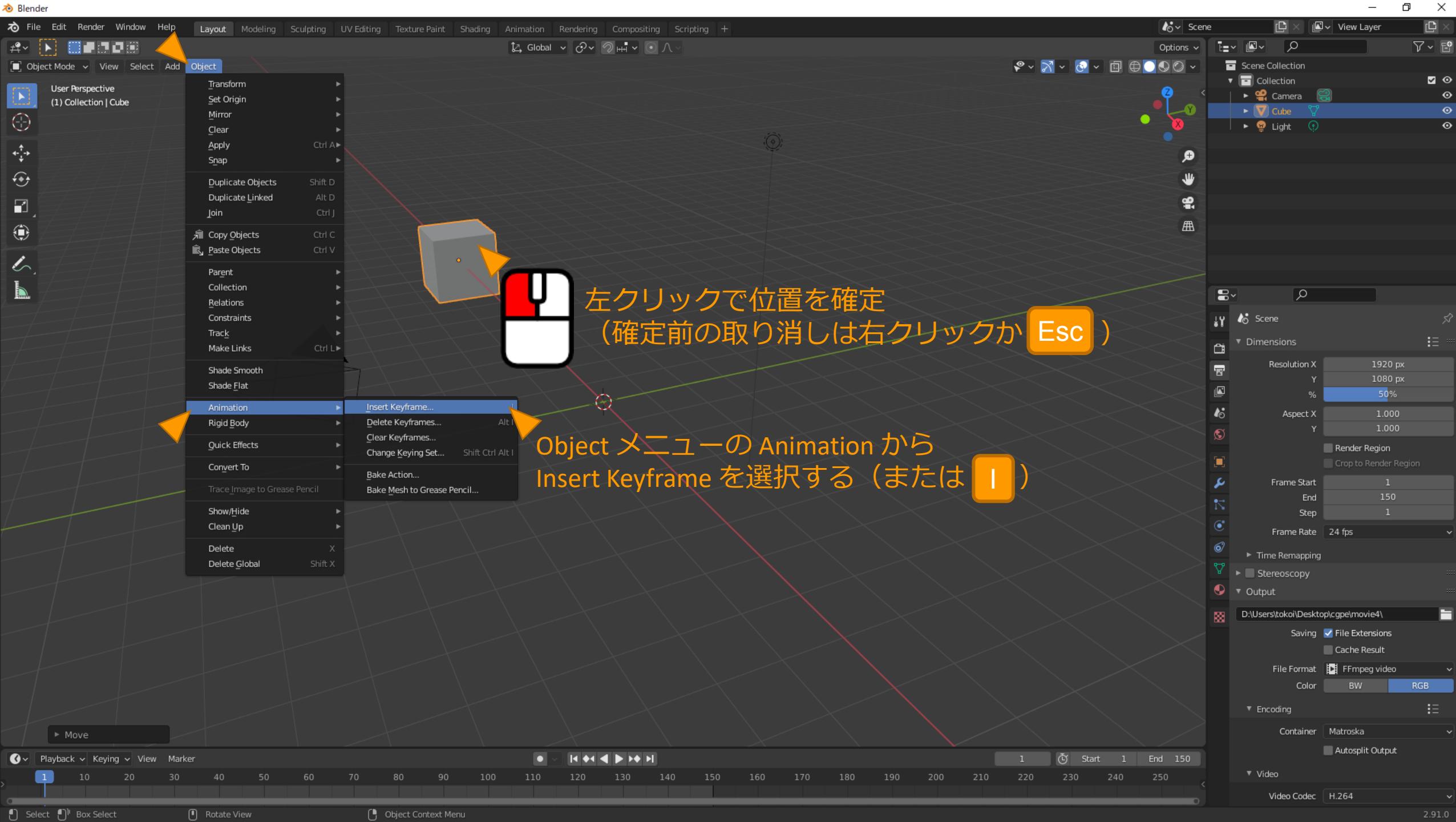


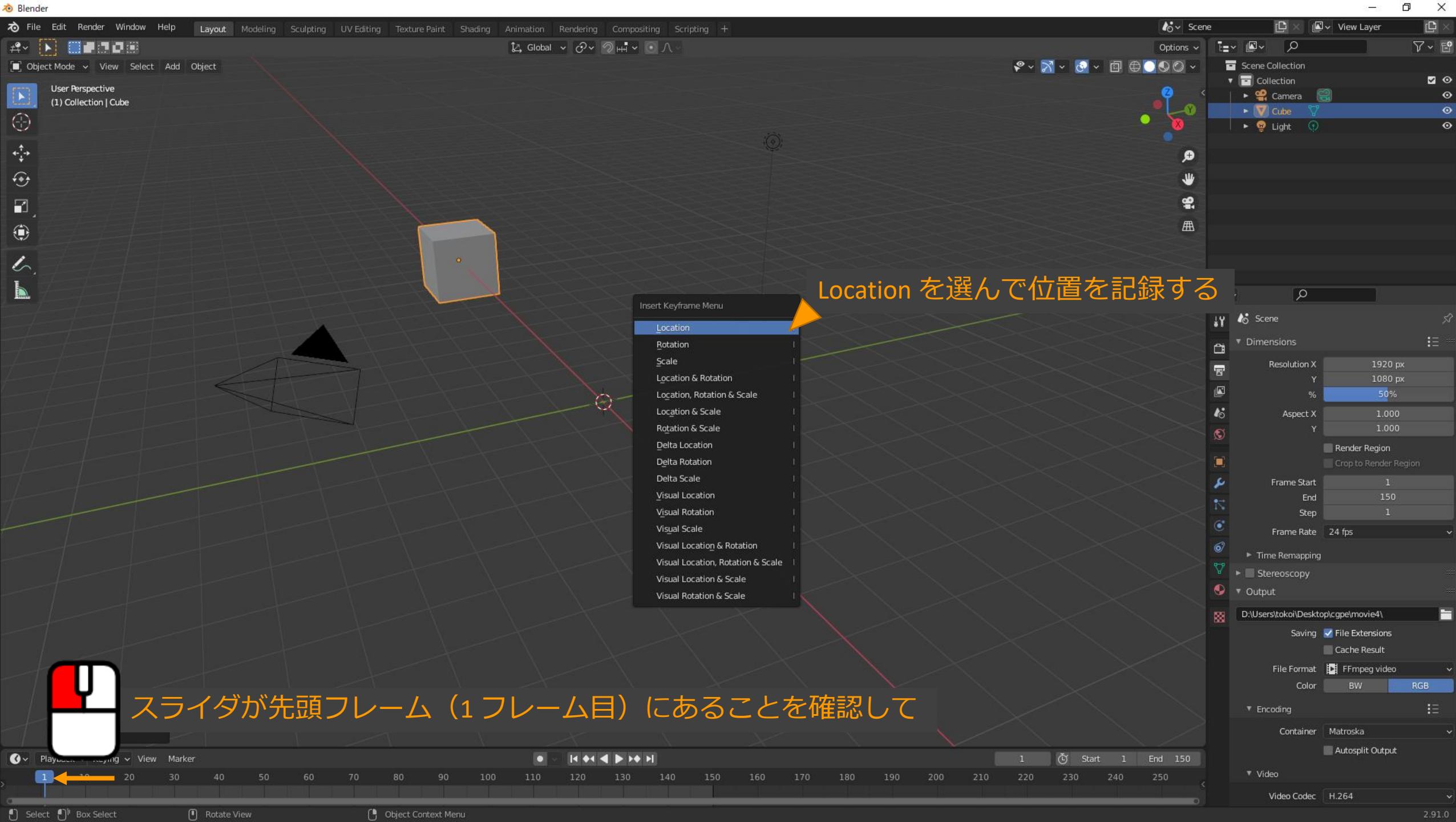
コンテナとコーデック

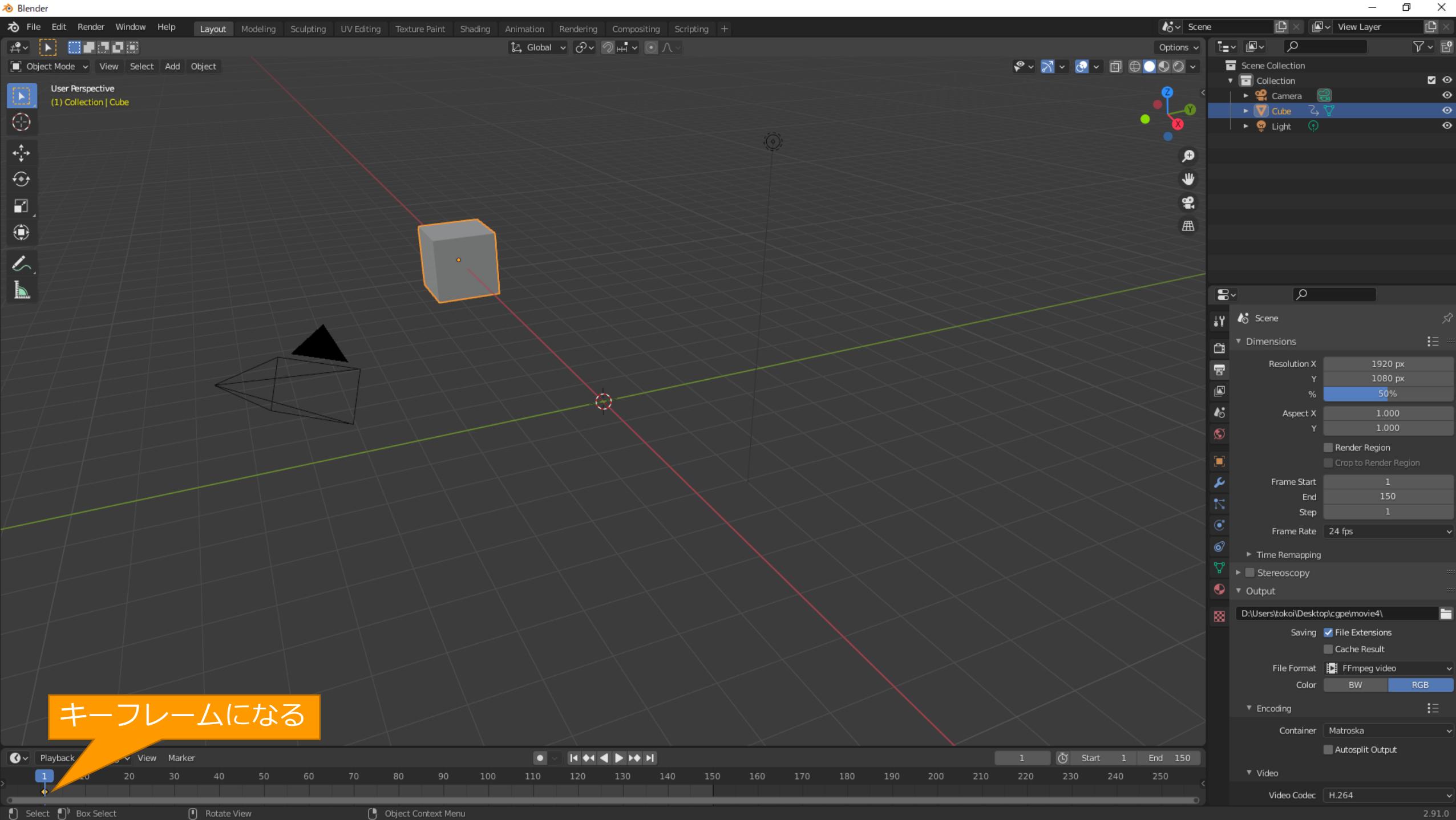
- 動画像ファイルには映像や音声の複数のデータが入る
- コンテナ (Container)
 - 動画像ファイルの書式 (フォーマット)
 - MPEG-4 (.mp4), AVI (.avi), Matroska (.mkv), QuickTime (.mov), Vorbis (.ogg), WebM (.webm) 等
 - Matroska (マトリョーシカ) や WebM はオープンソースの書式
- コーデック (Codec)
 - 動画像ファイルの中の動画像データの符号化 (圧縮) 方式
 - MPEG-4 (MPEG-4), H.264 (MPEG-4 AVC), H.265, DivX,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

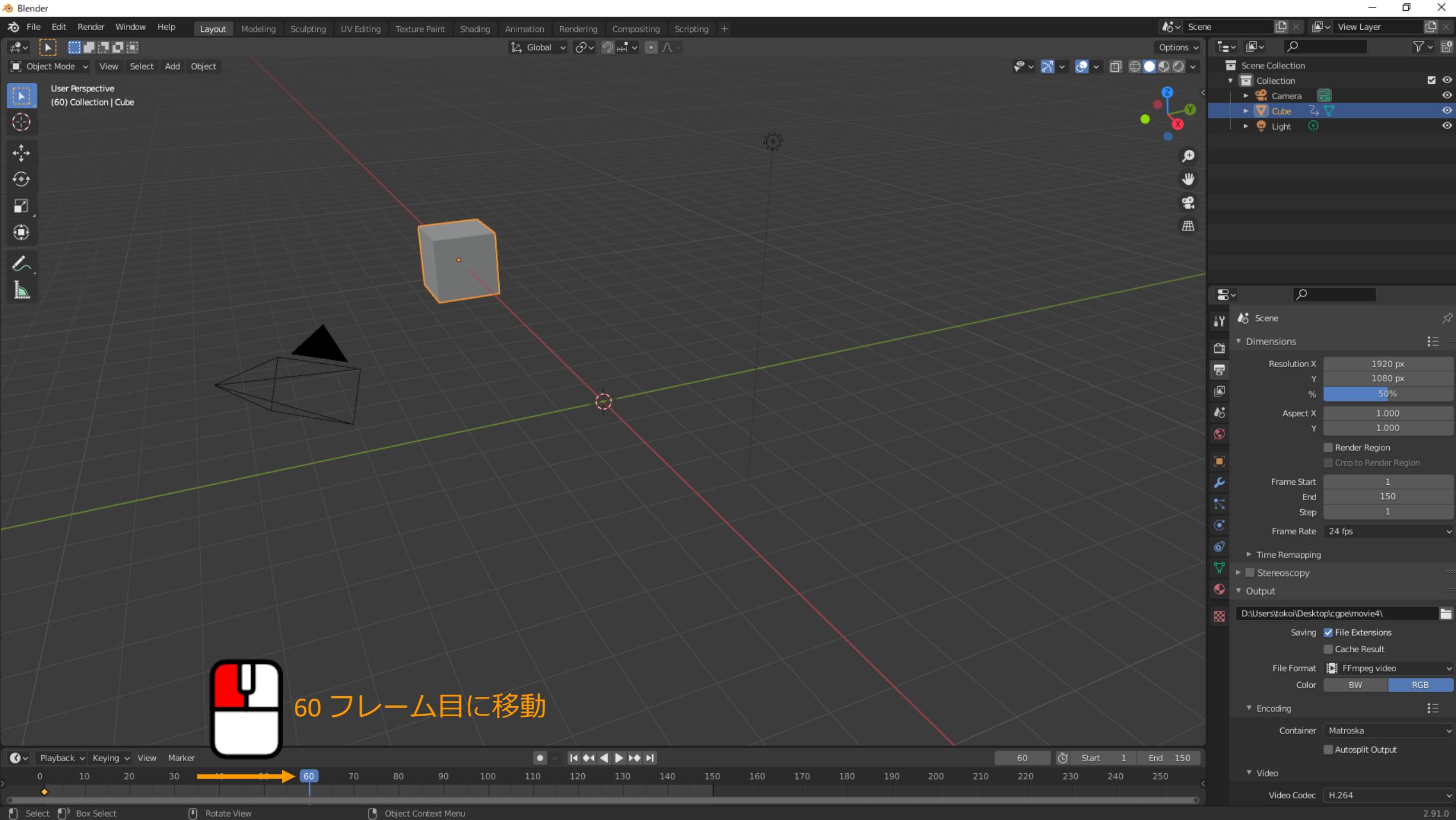


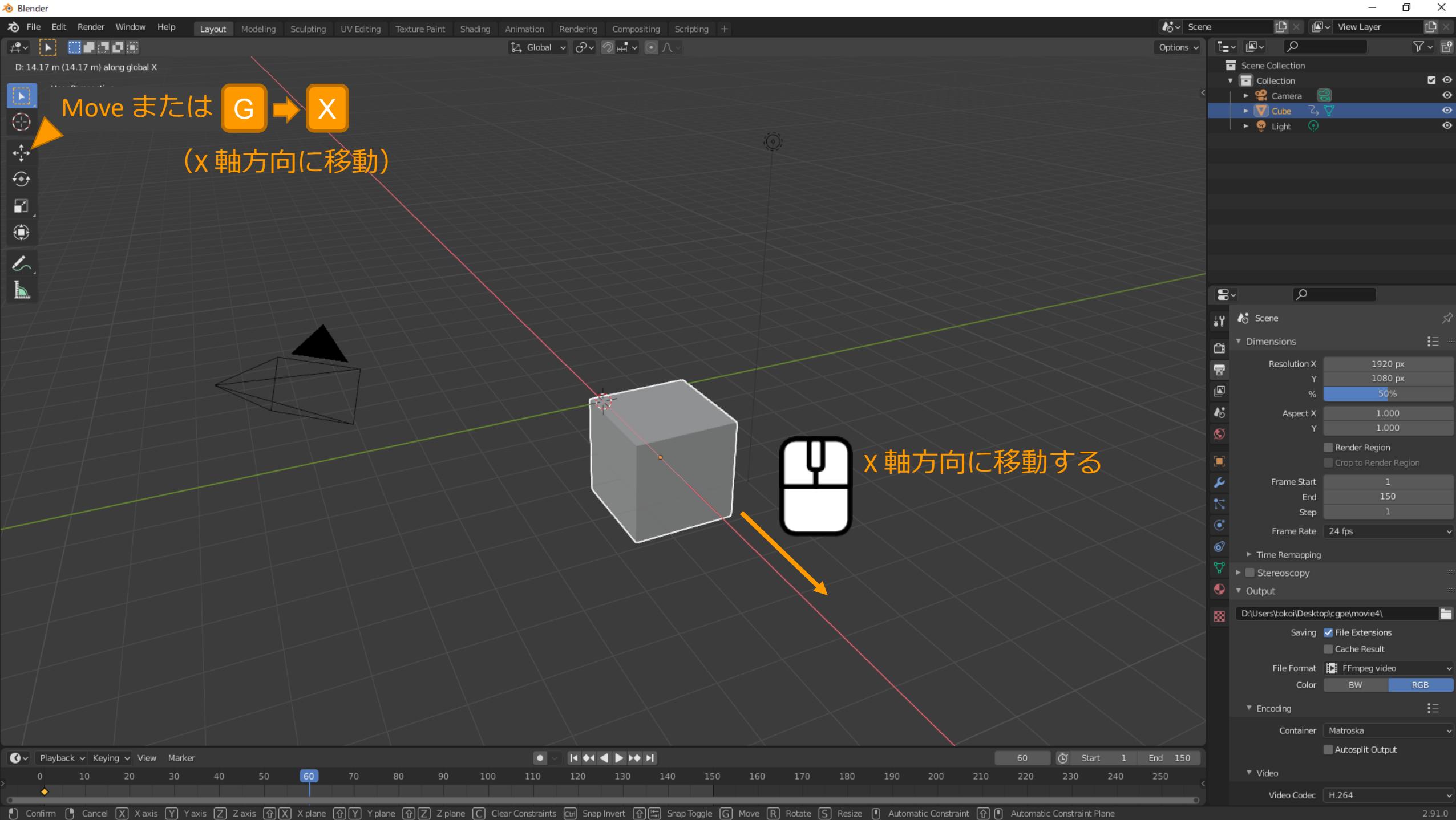


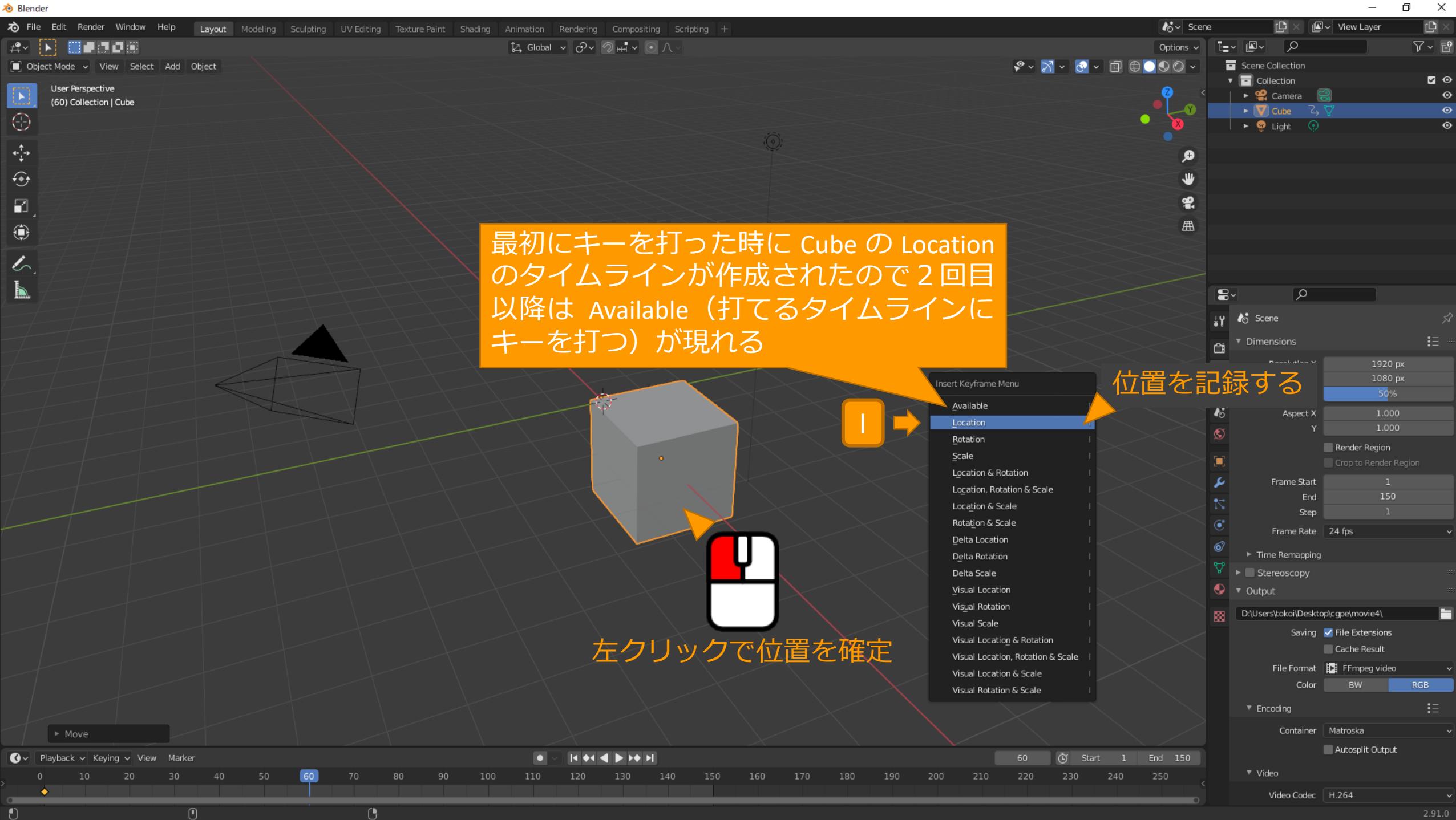


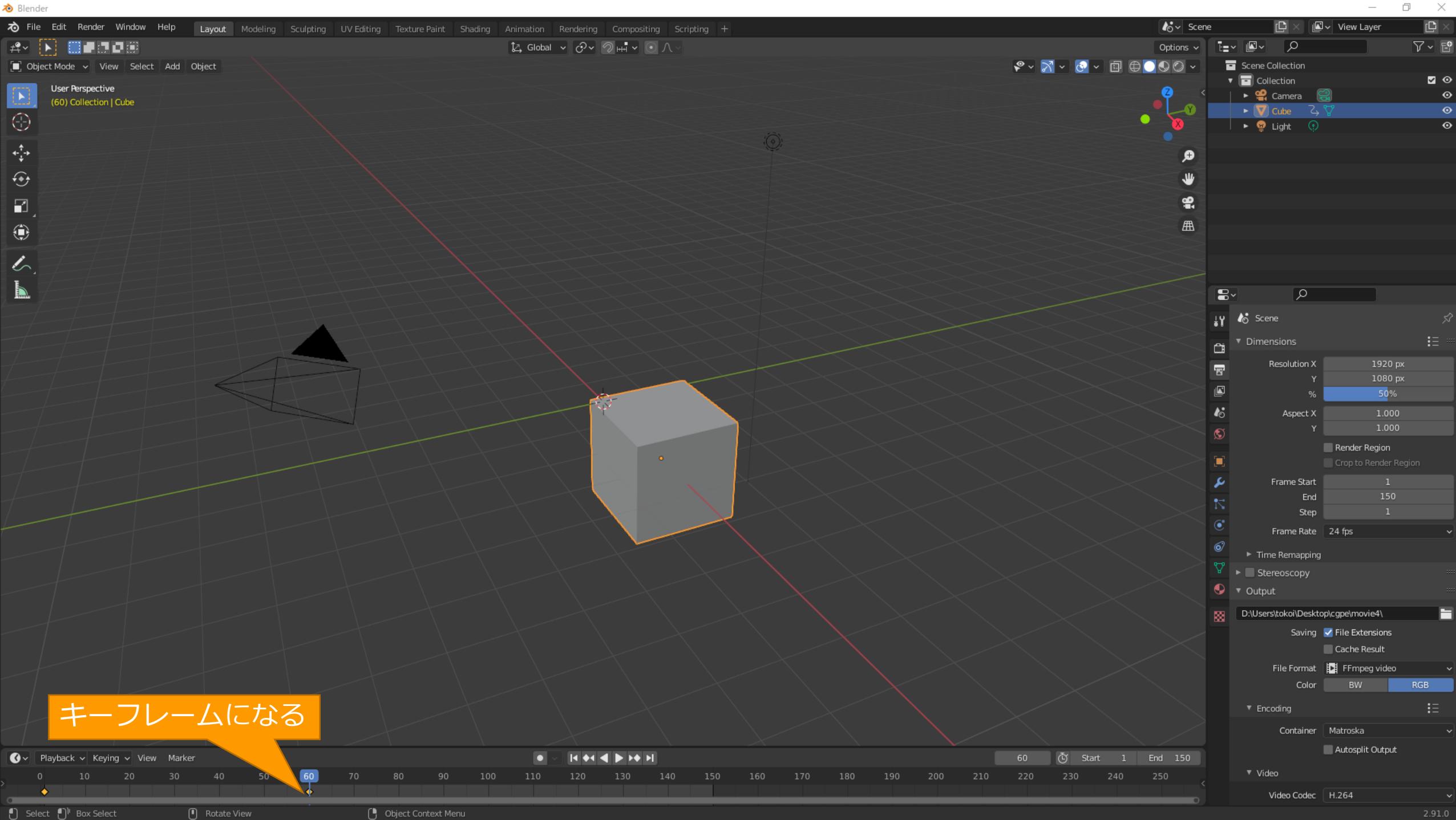




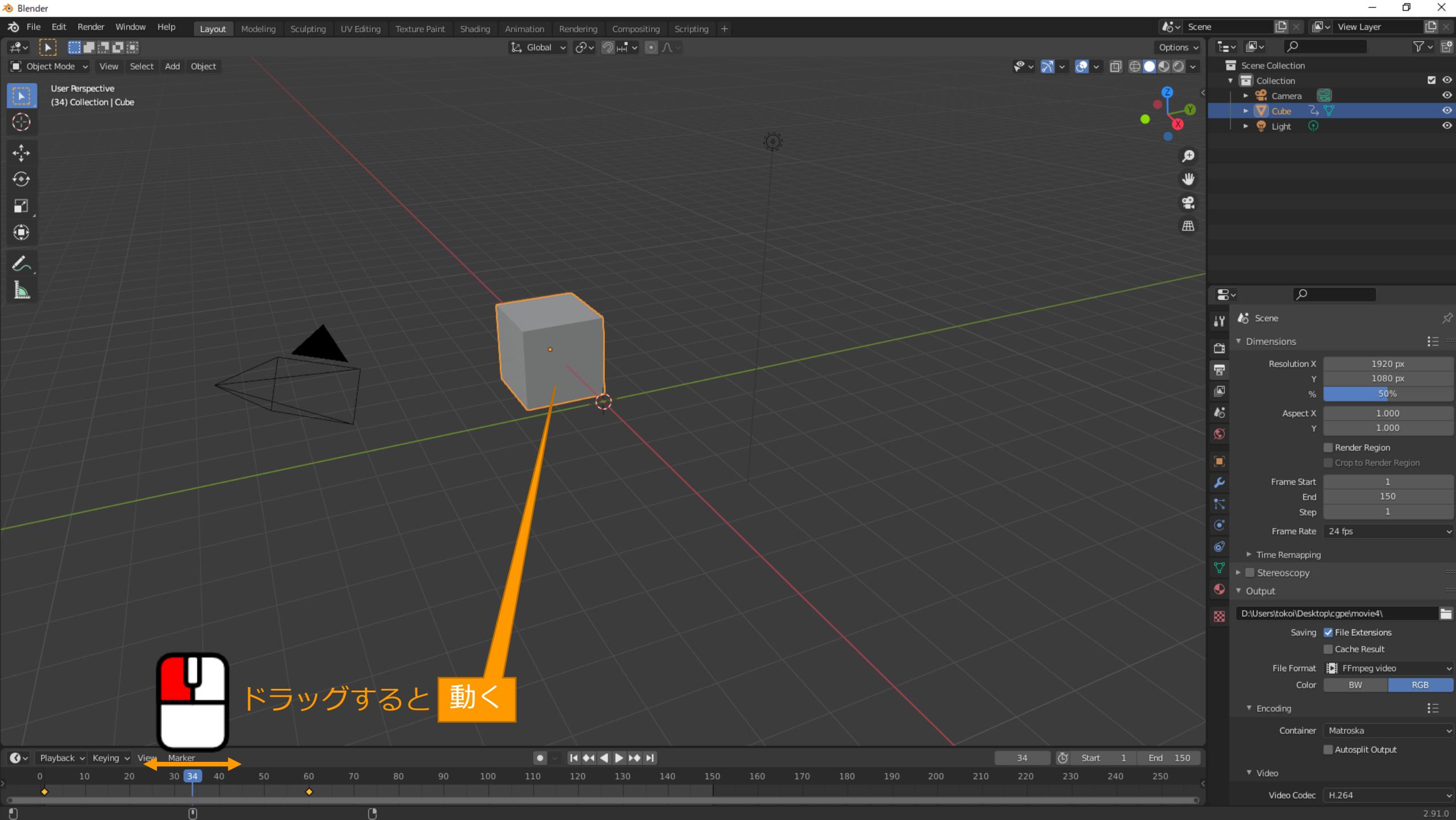


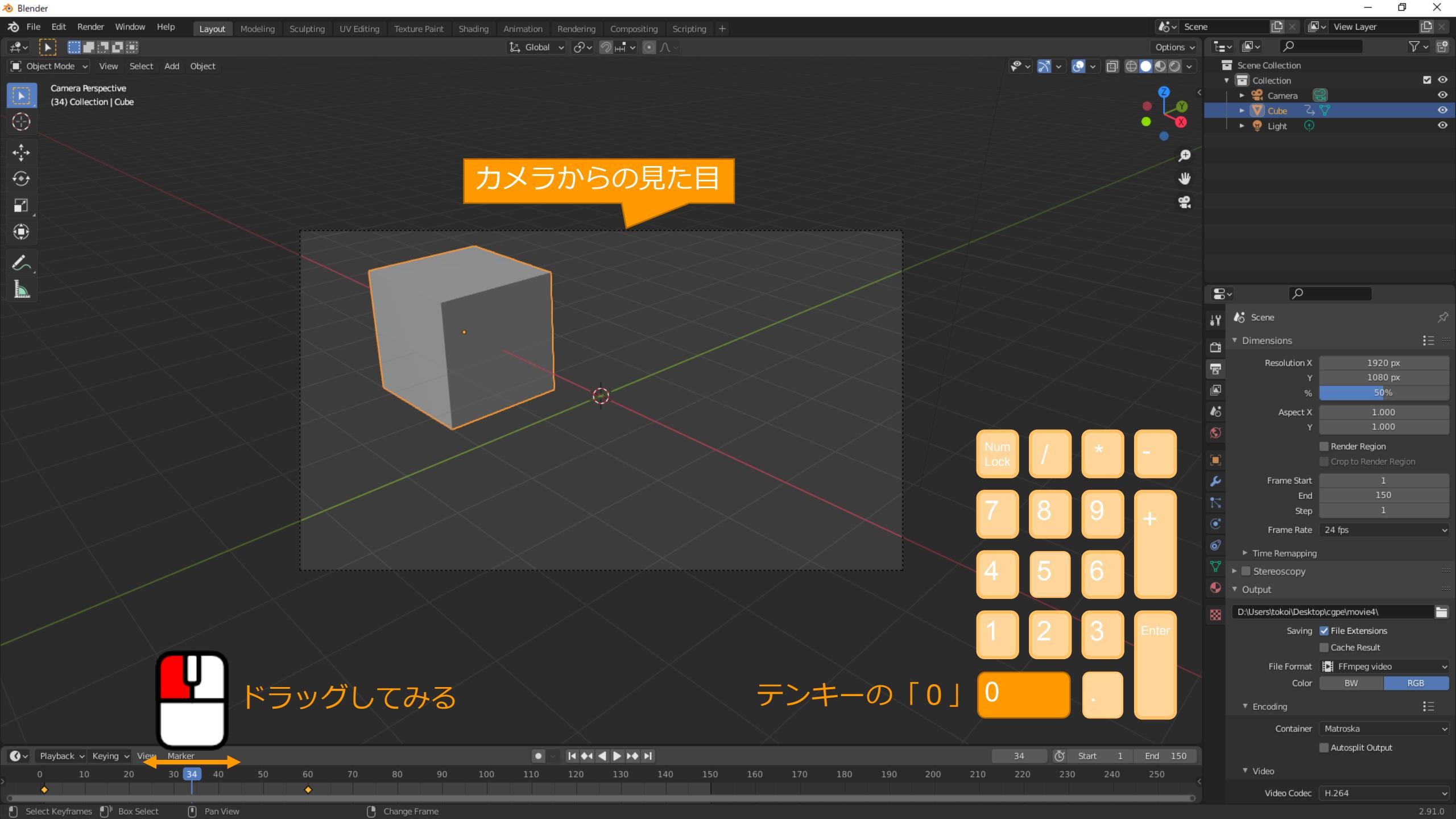


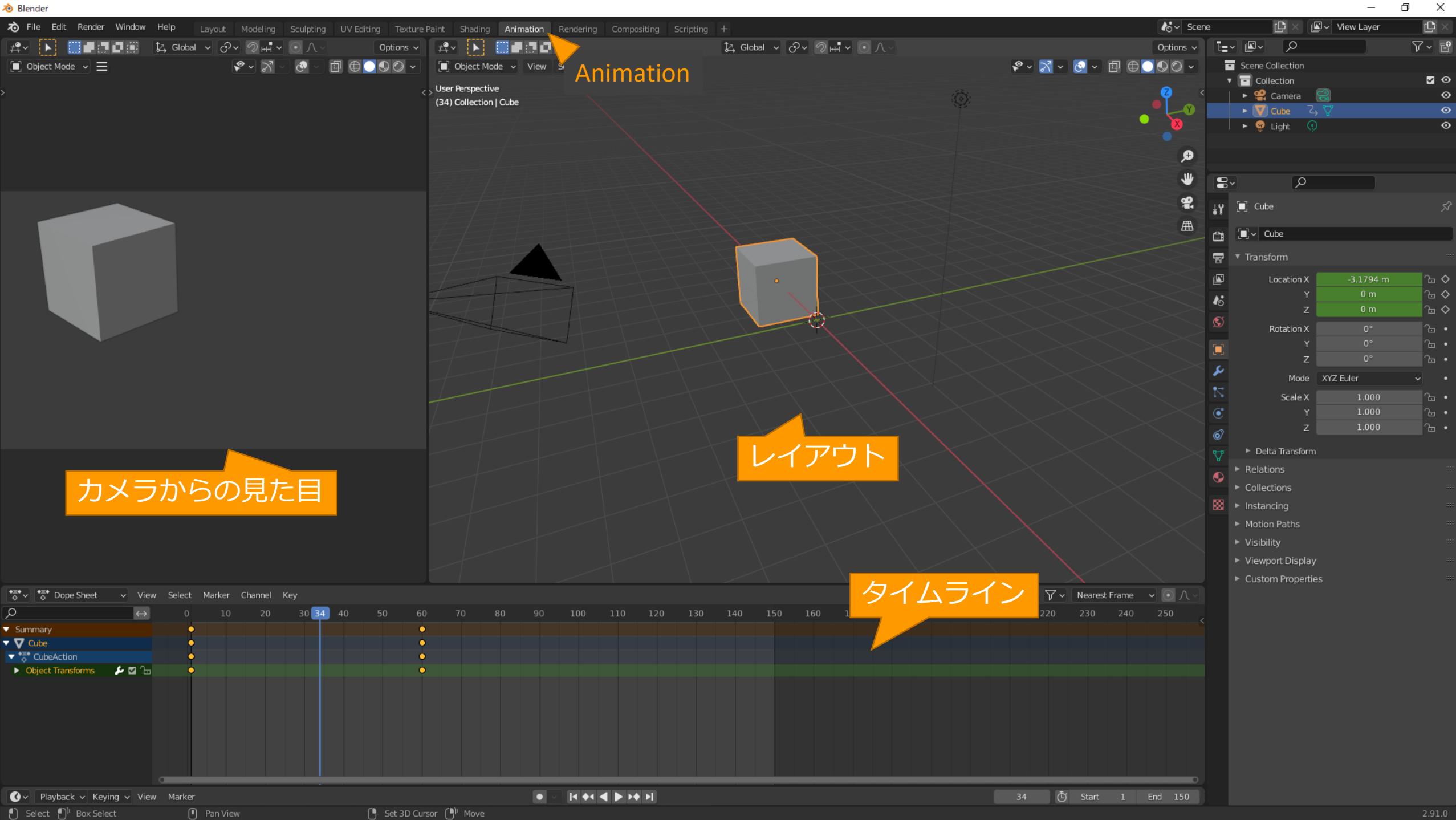


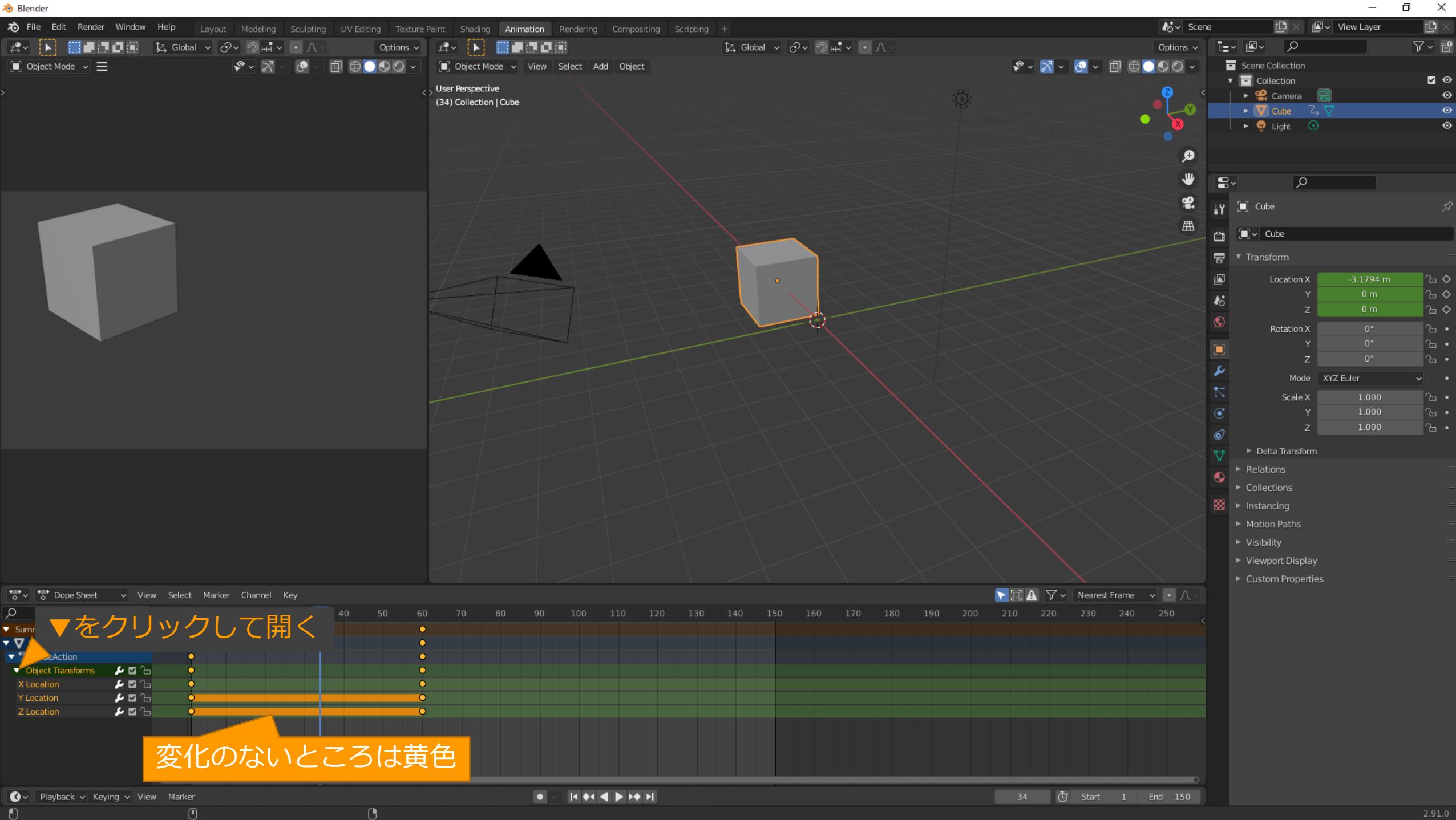


キーフレームになる

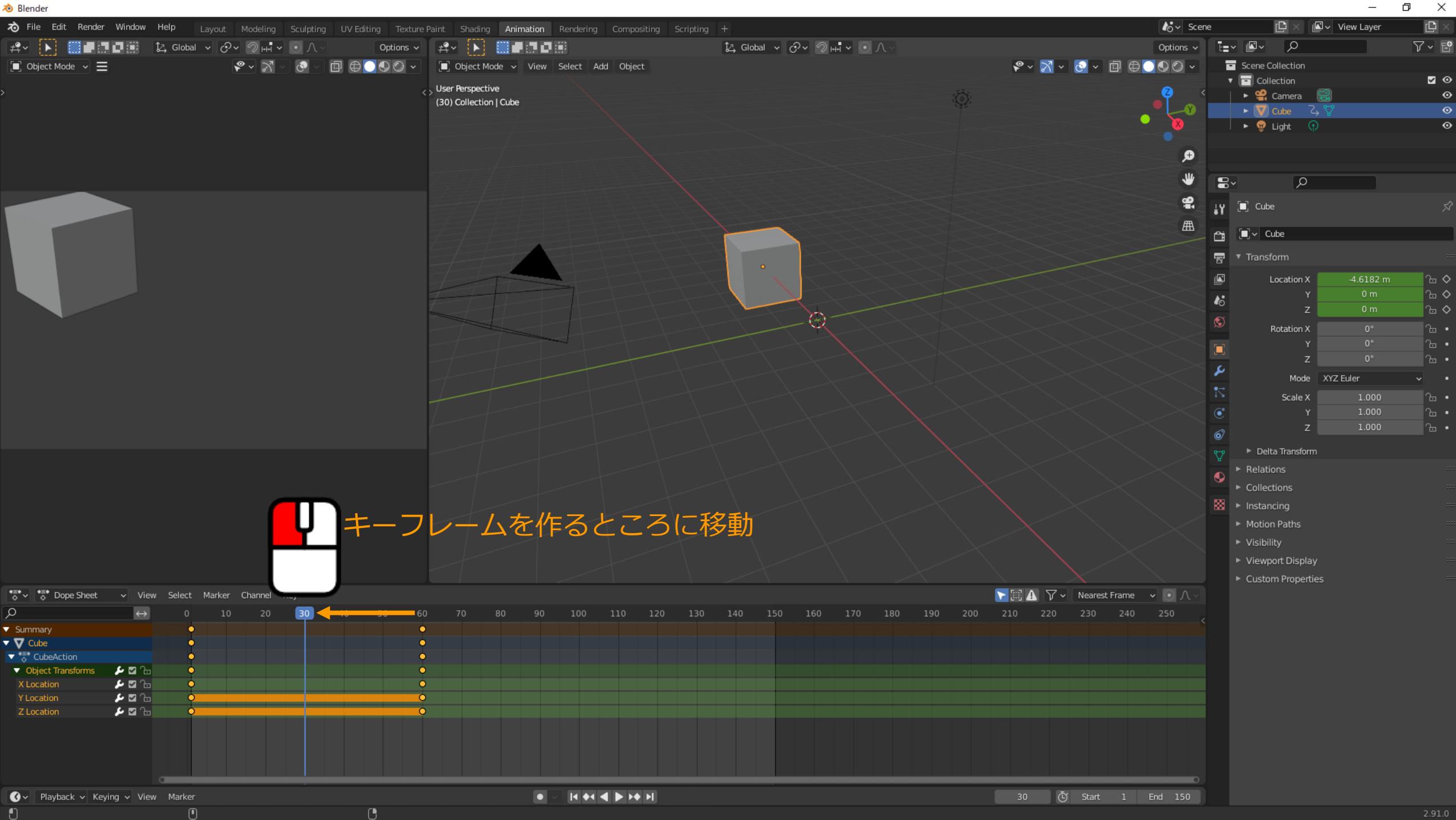


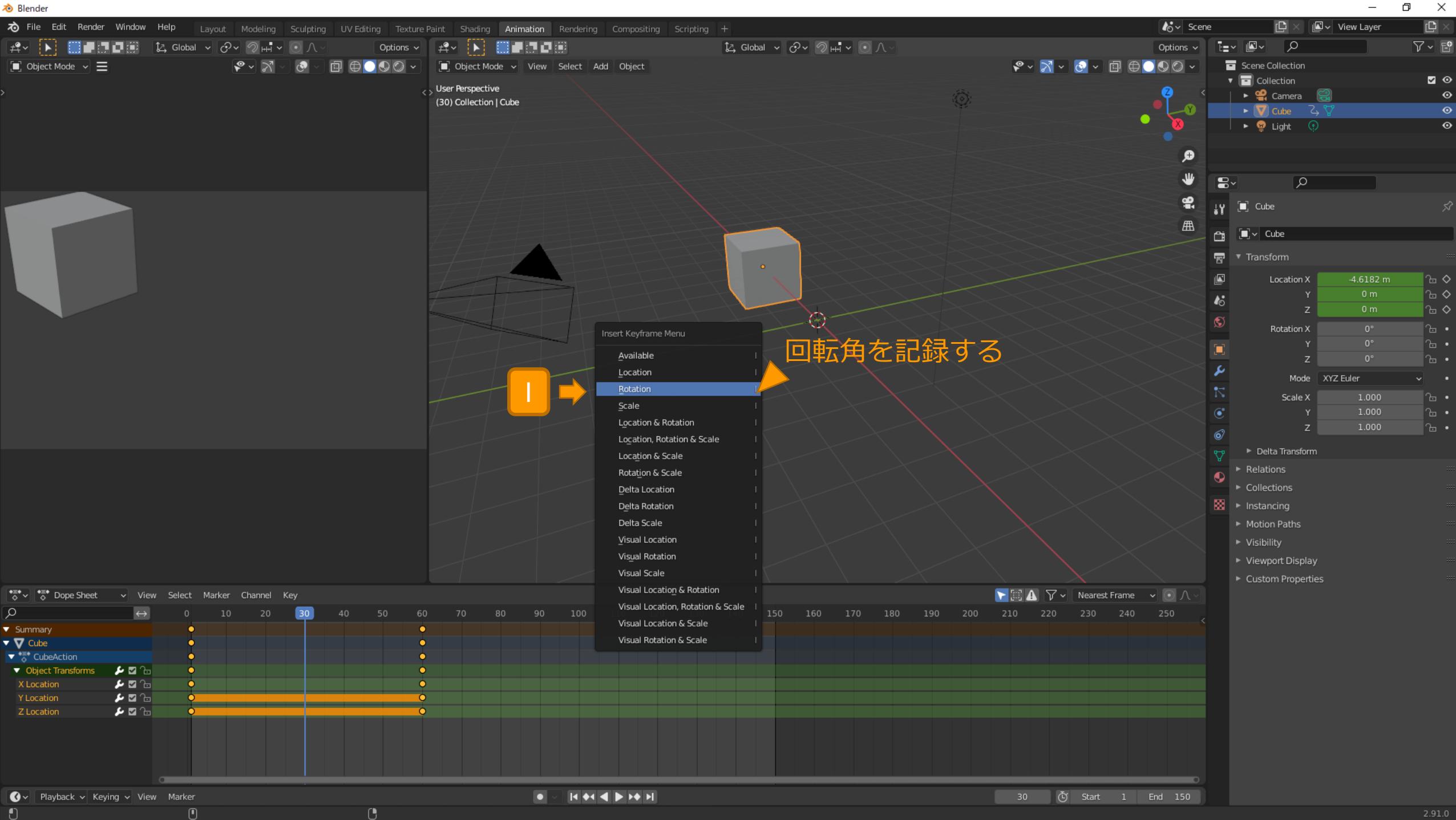


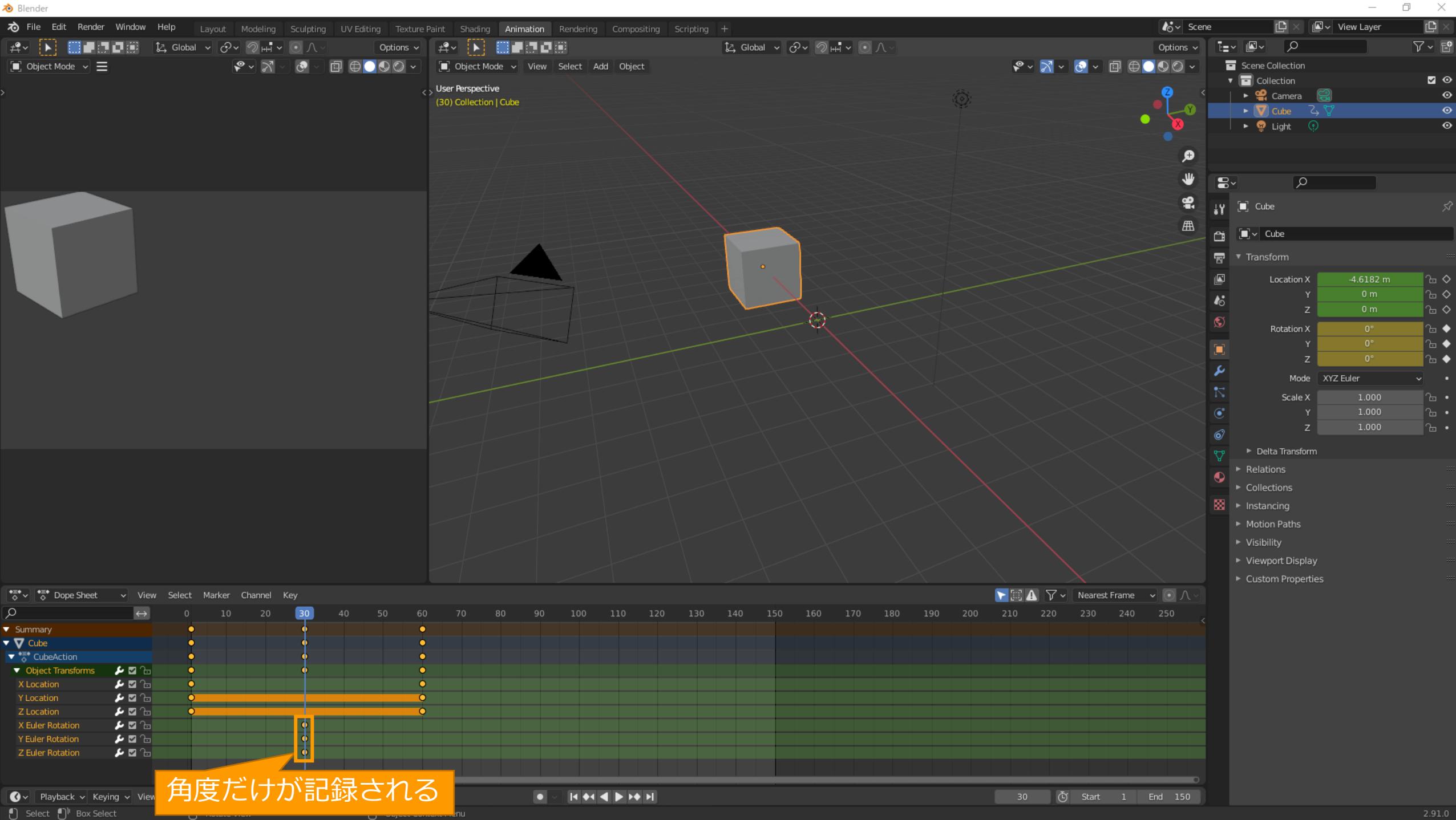




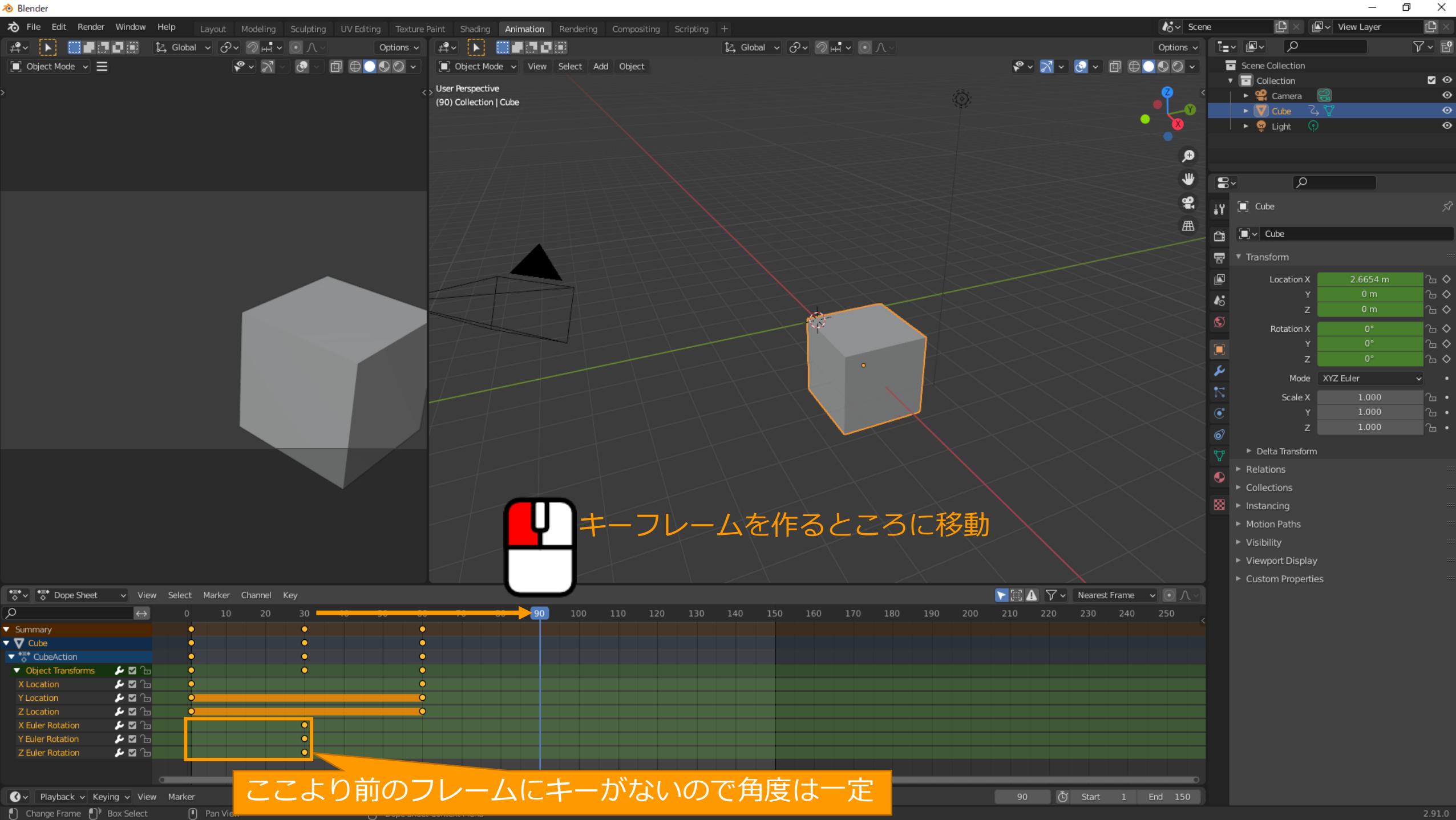
▼をクリックして開く
変化のないところは黄色

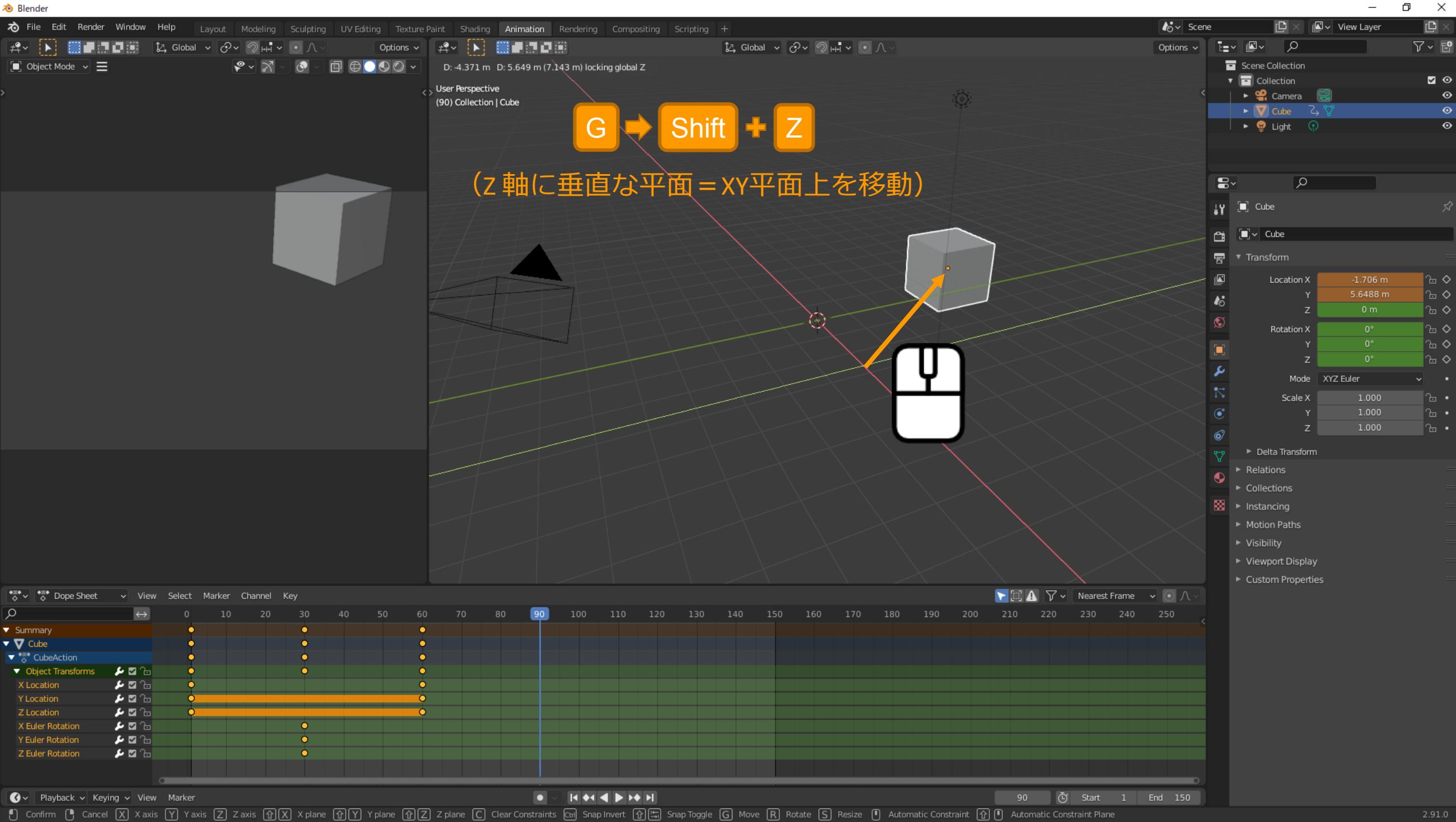


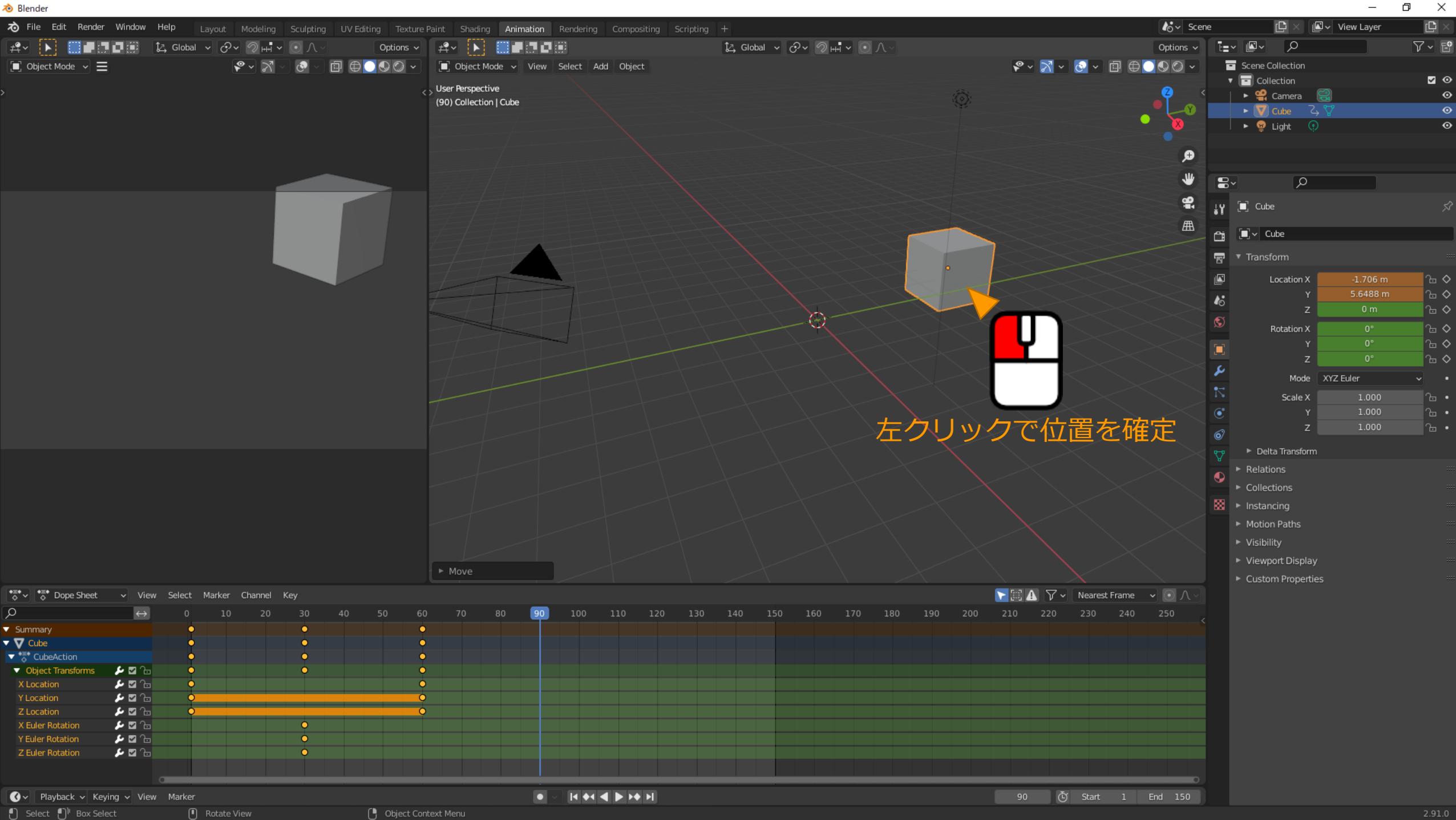


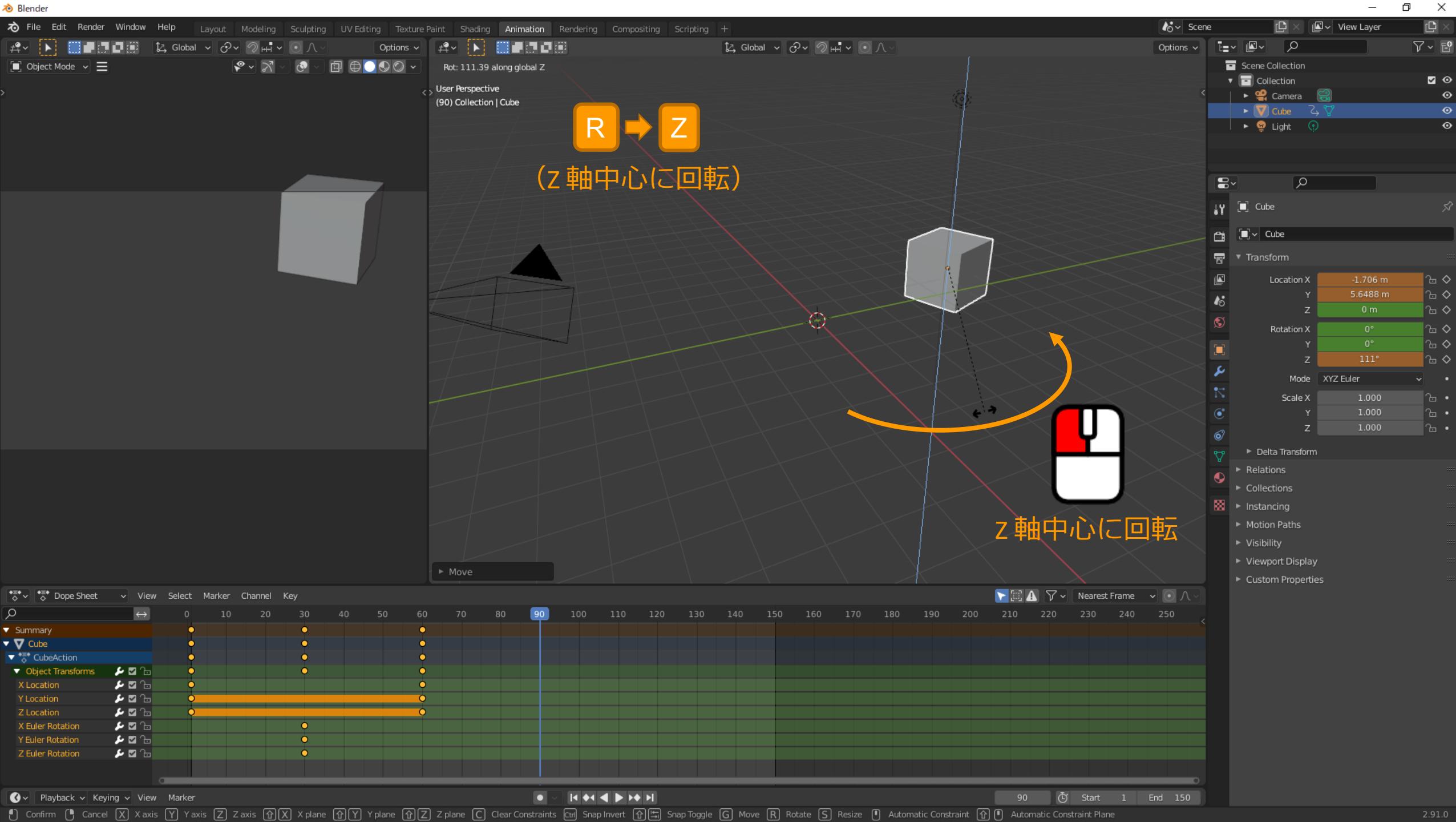


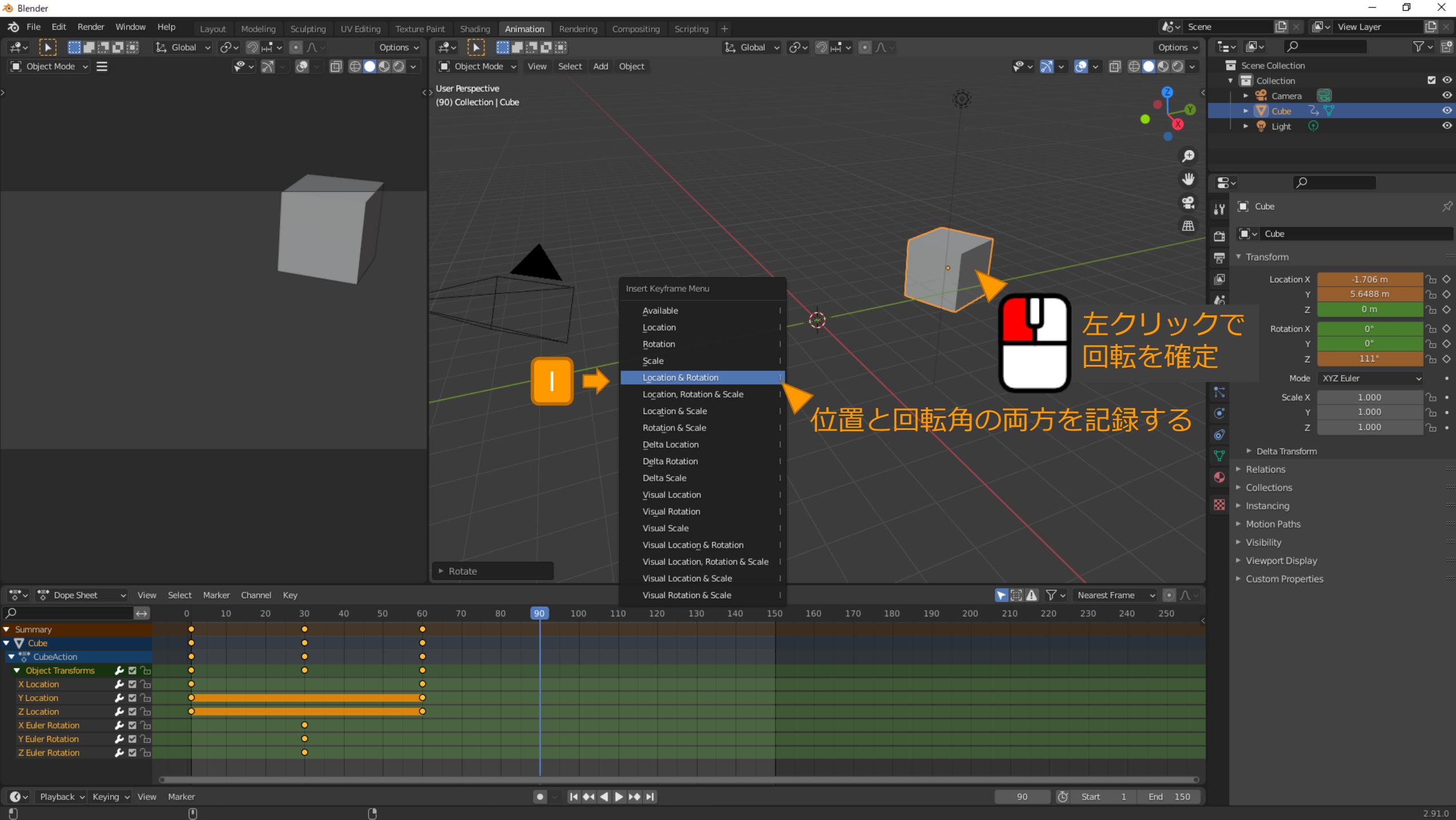
角度だけが記録される

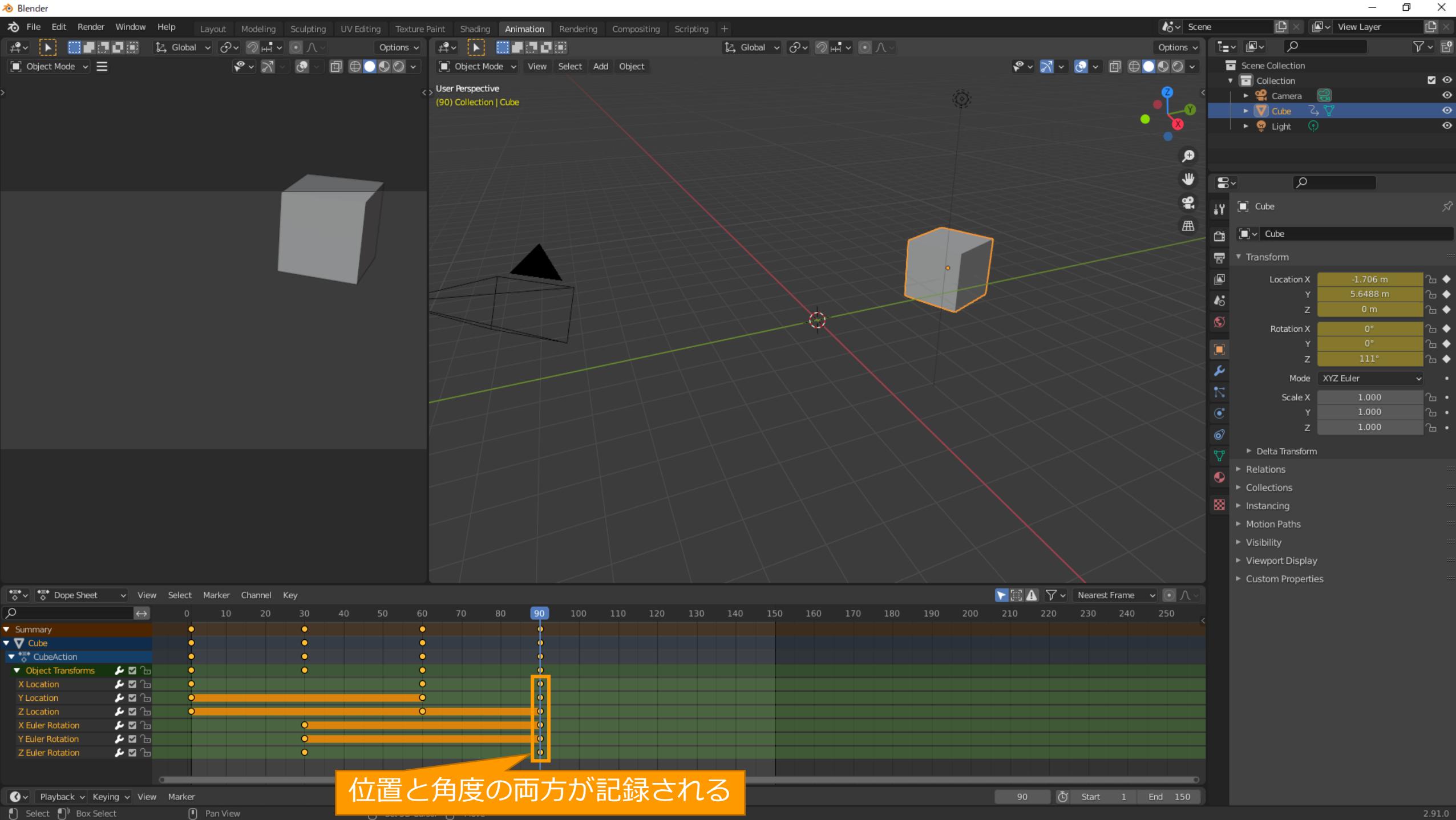


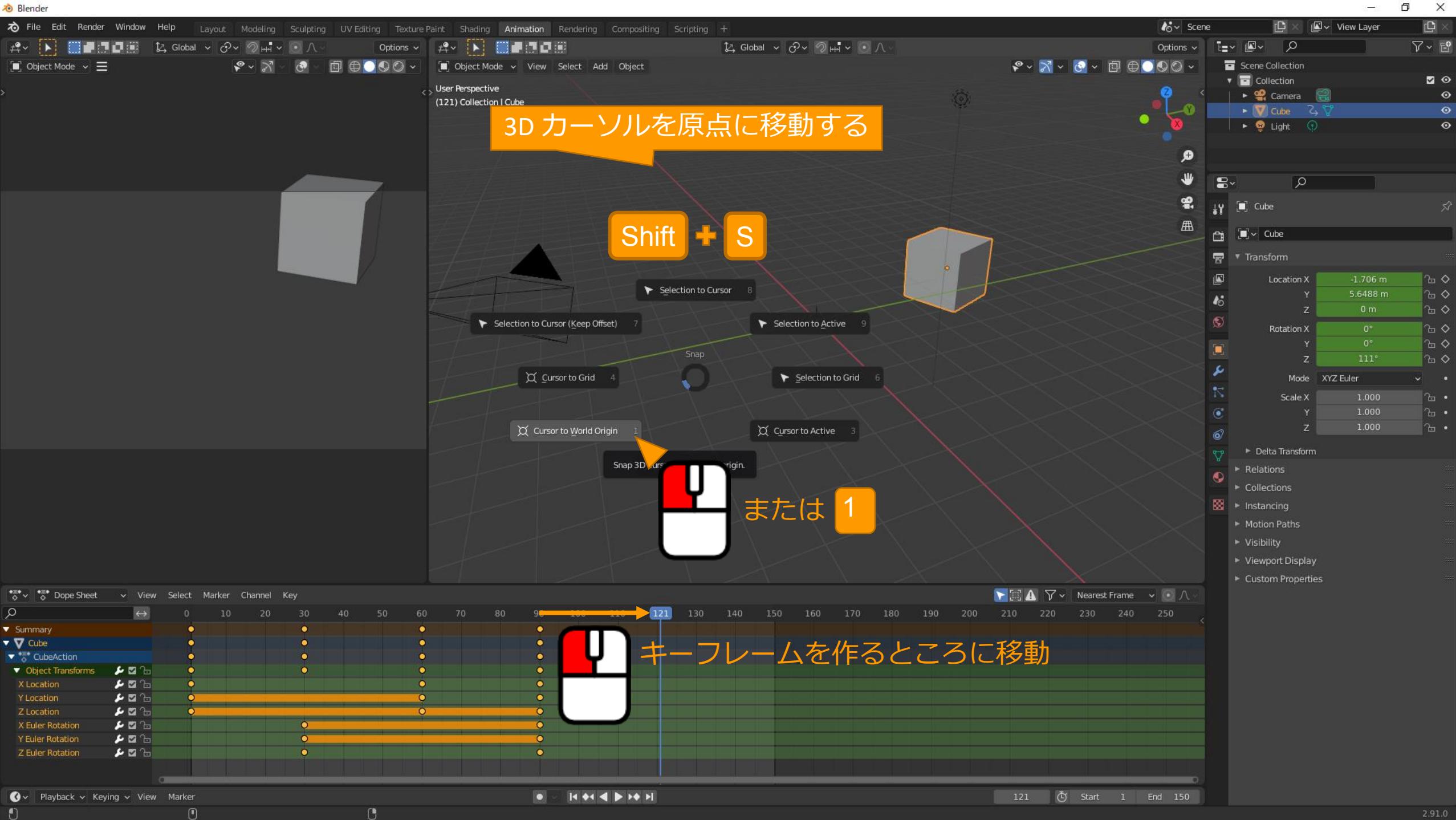


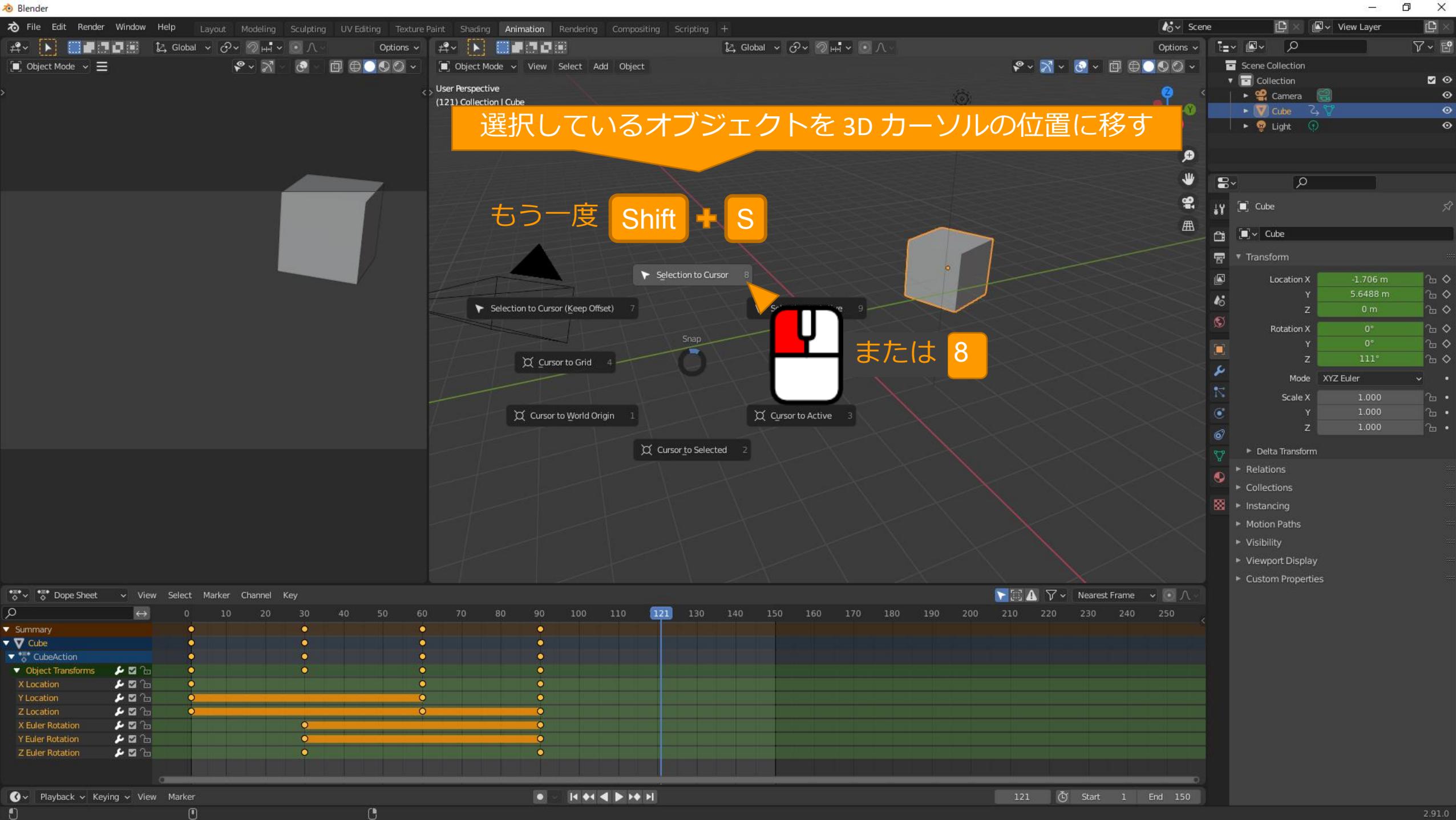


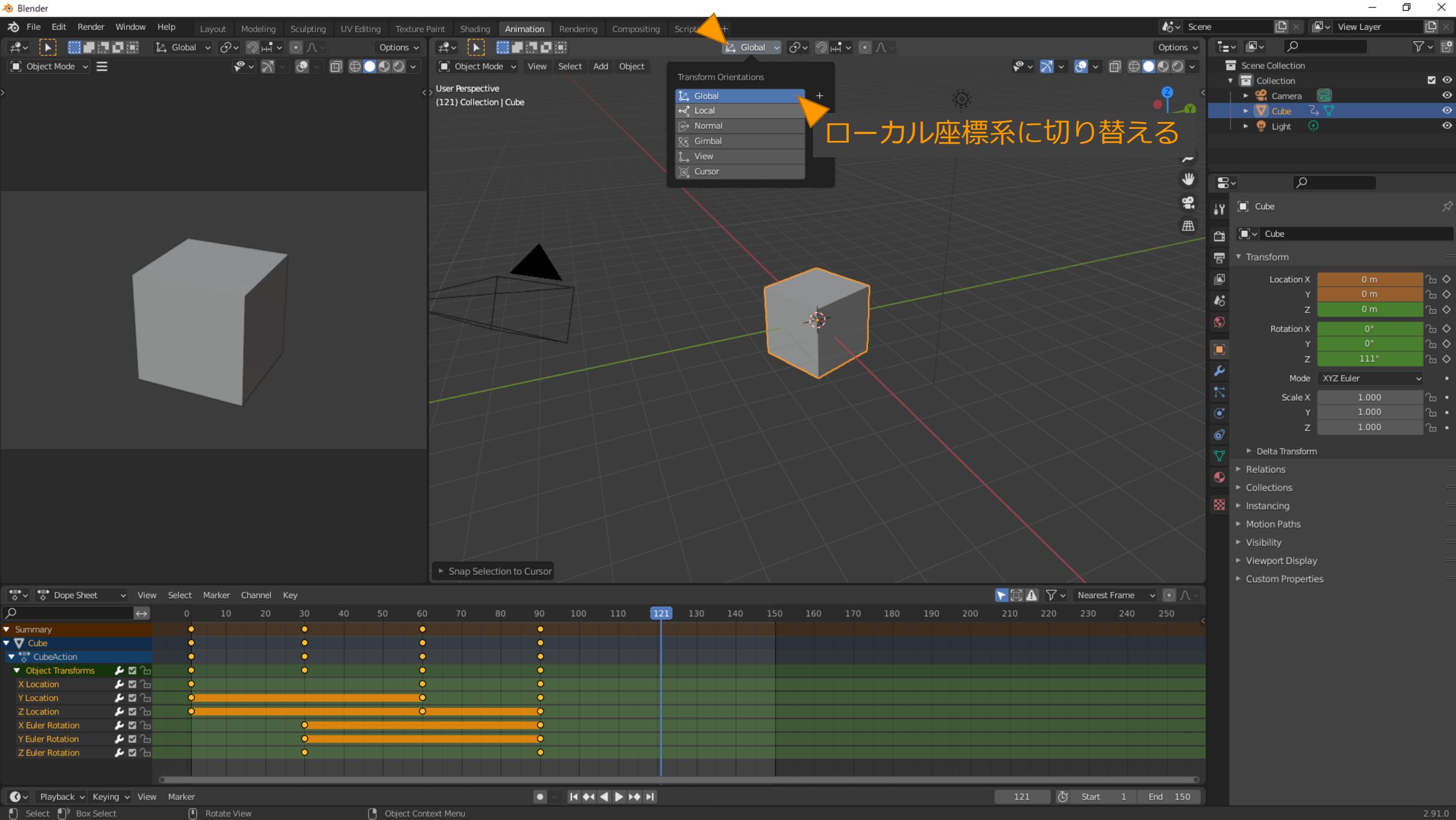


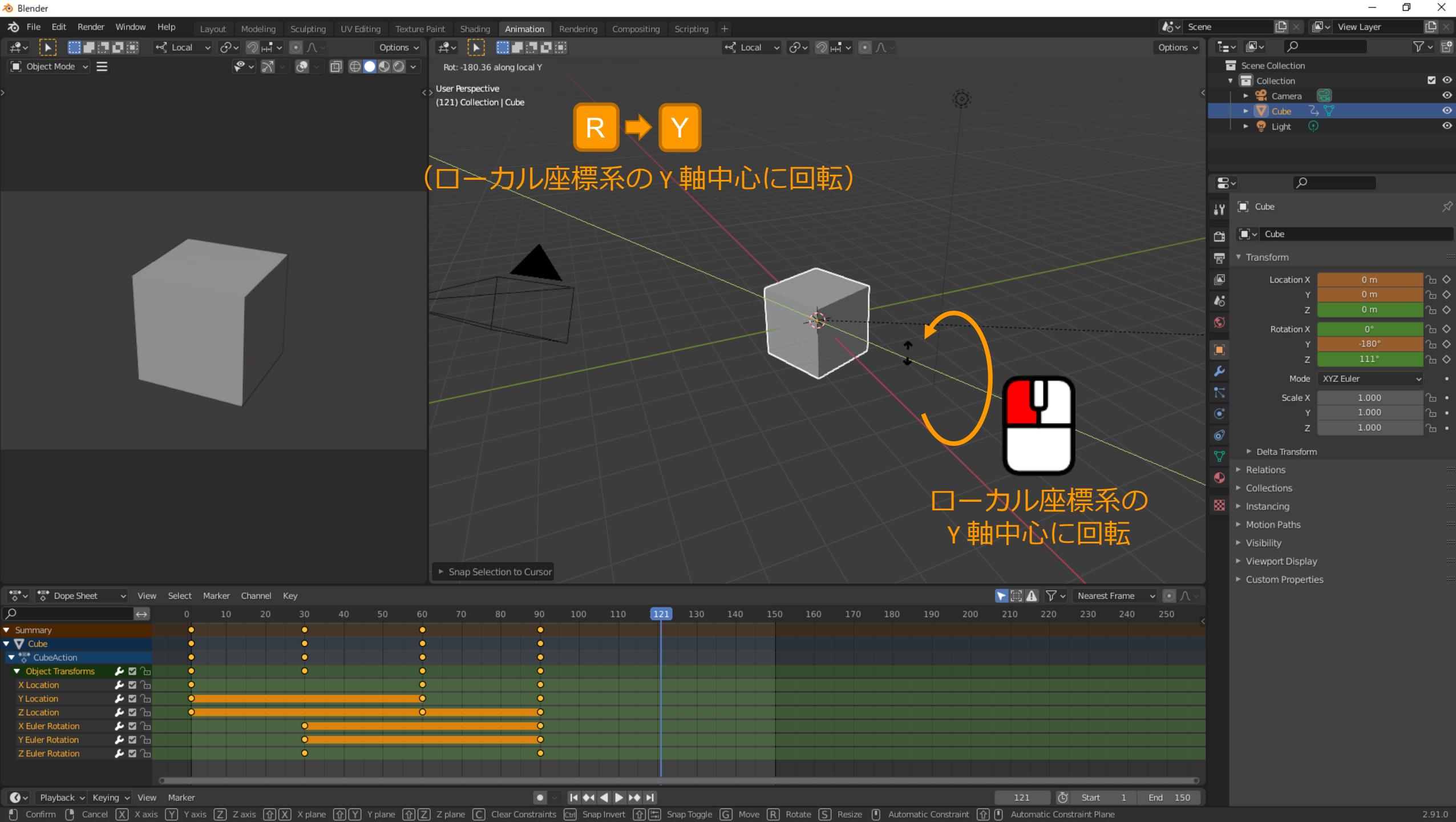


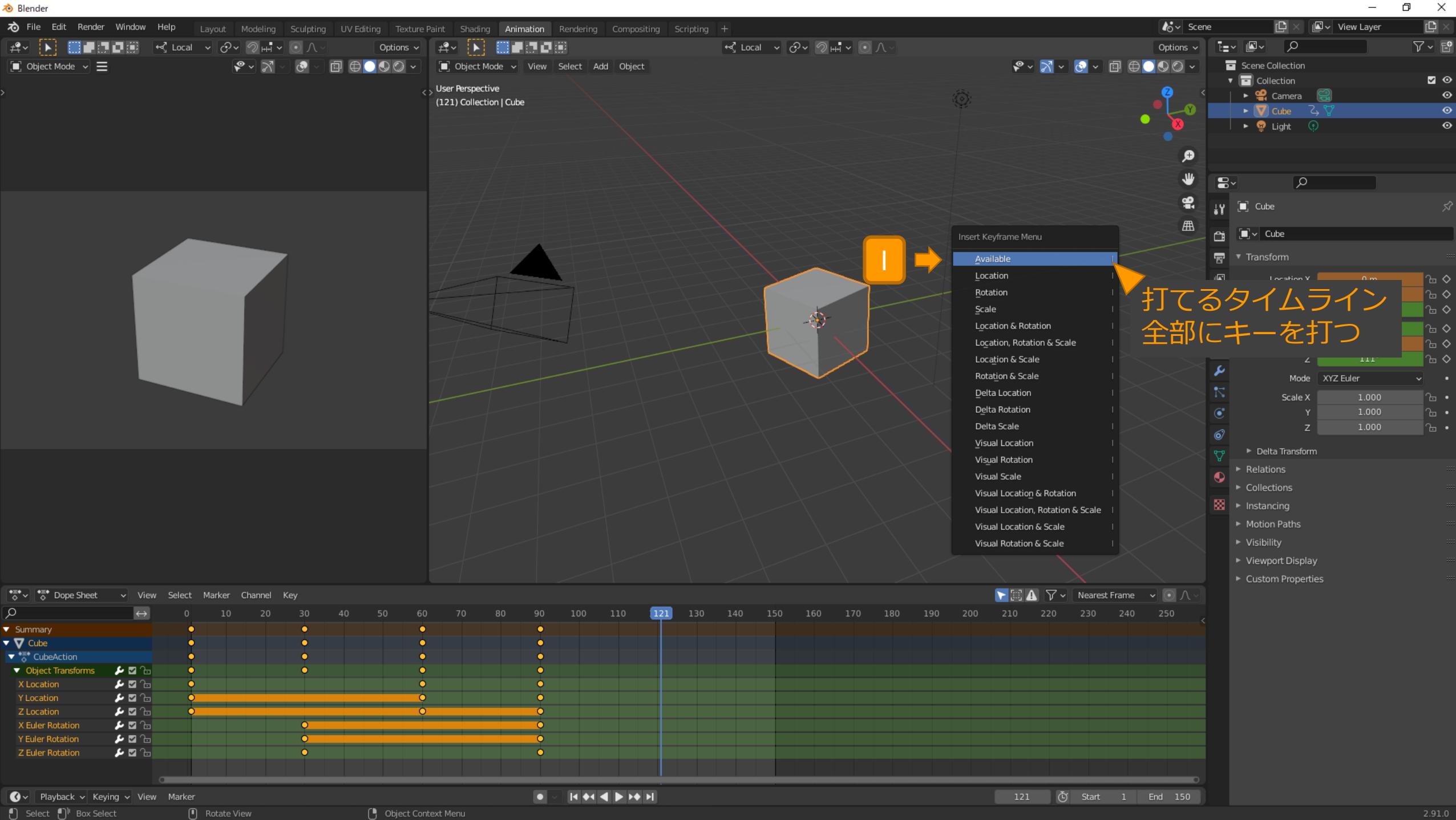


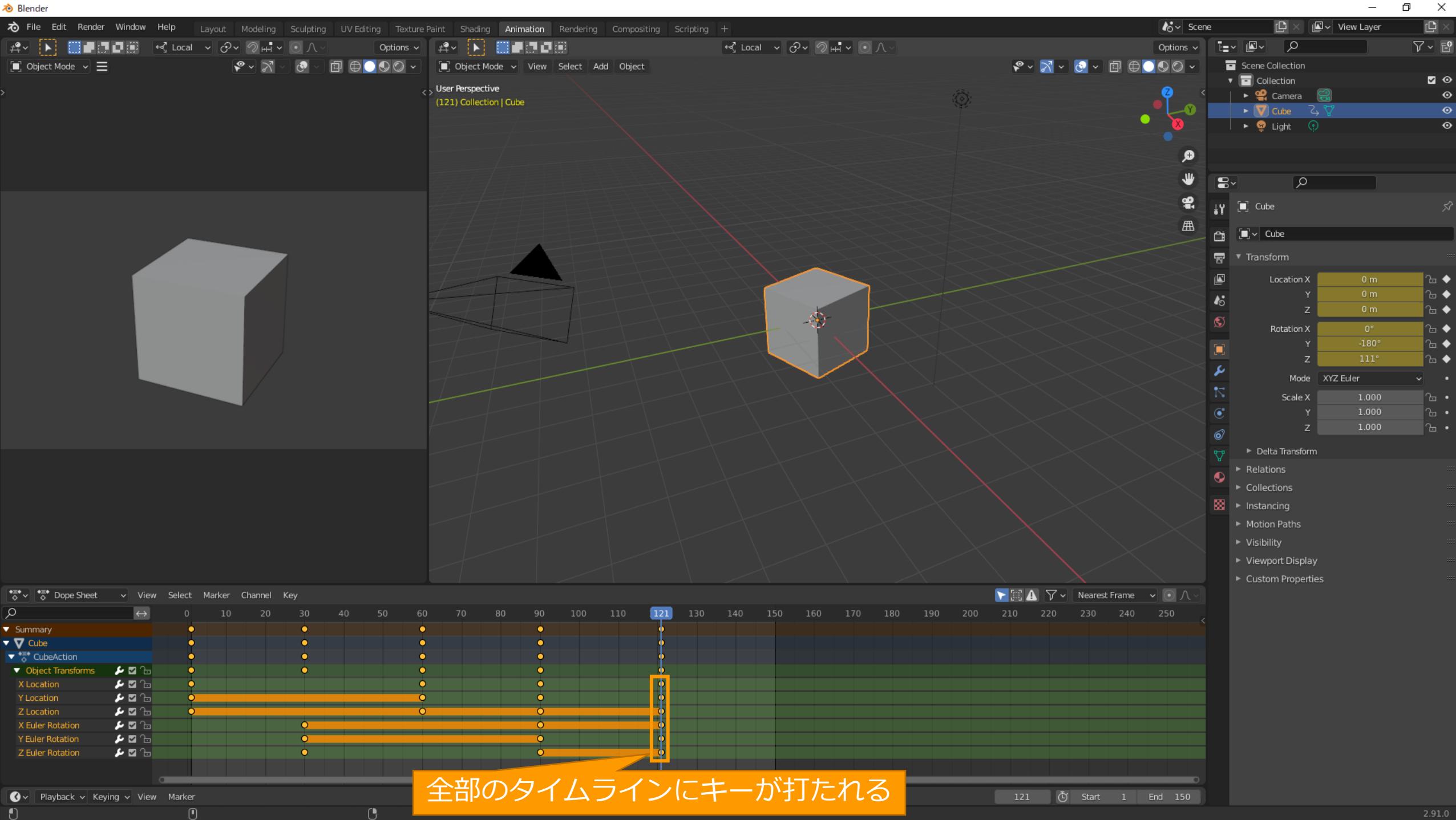


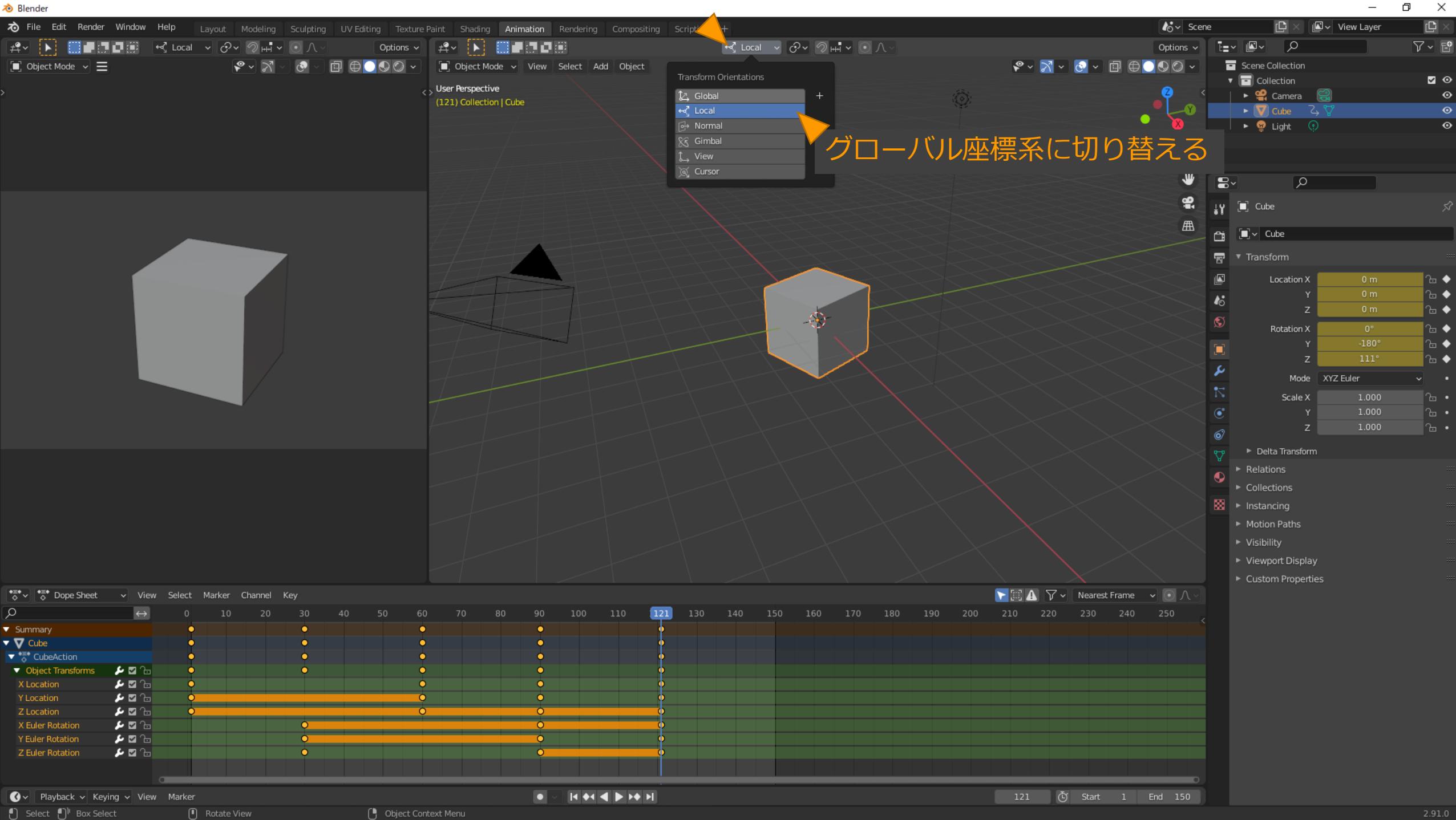


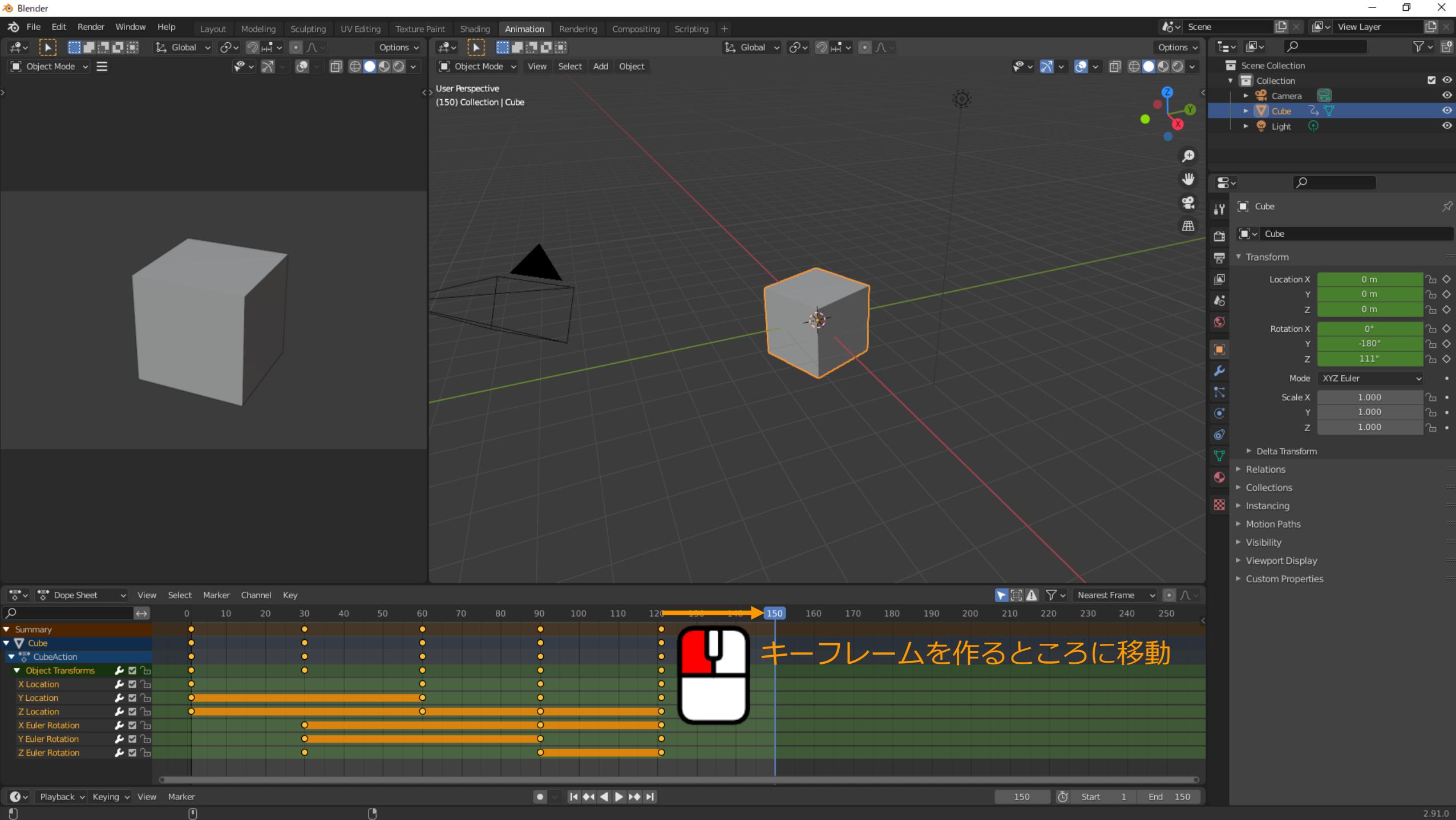


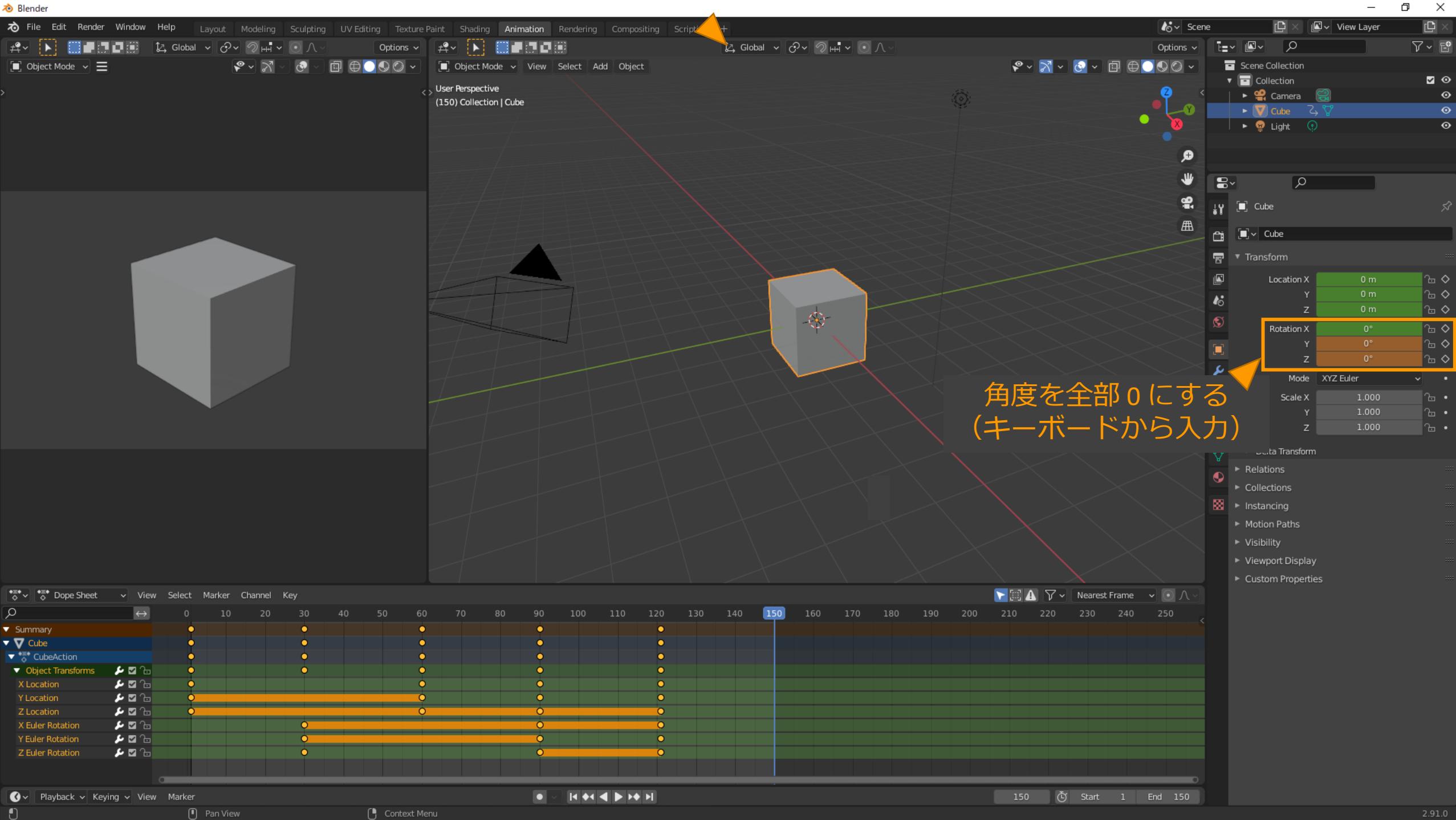


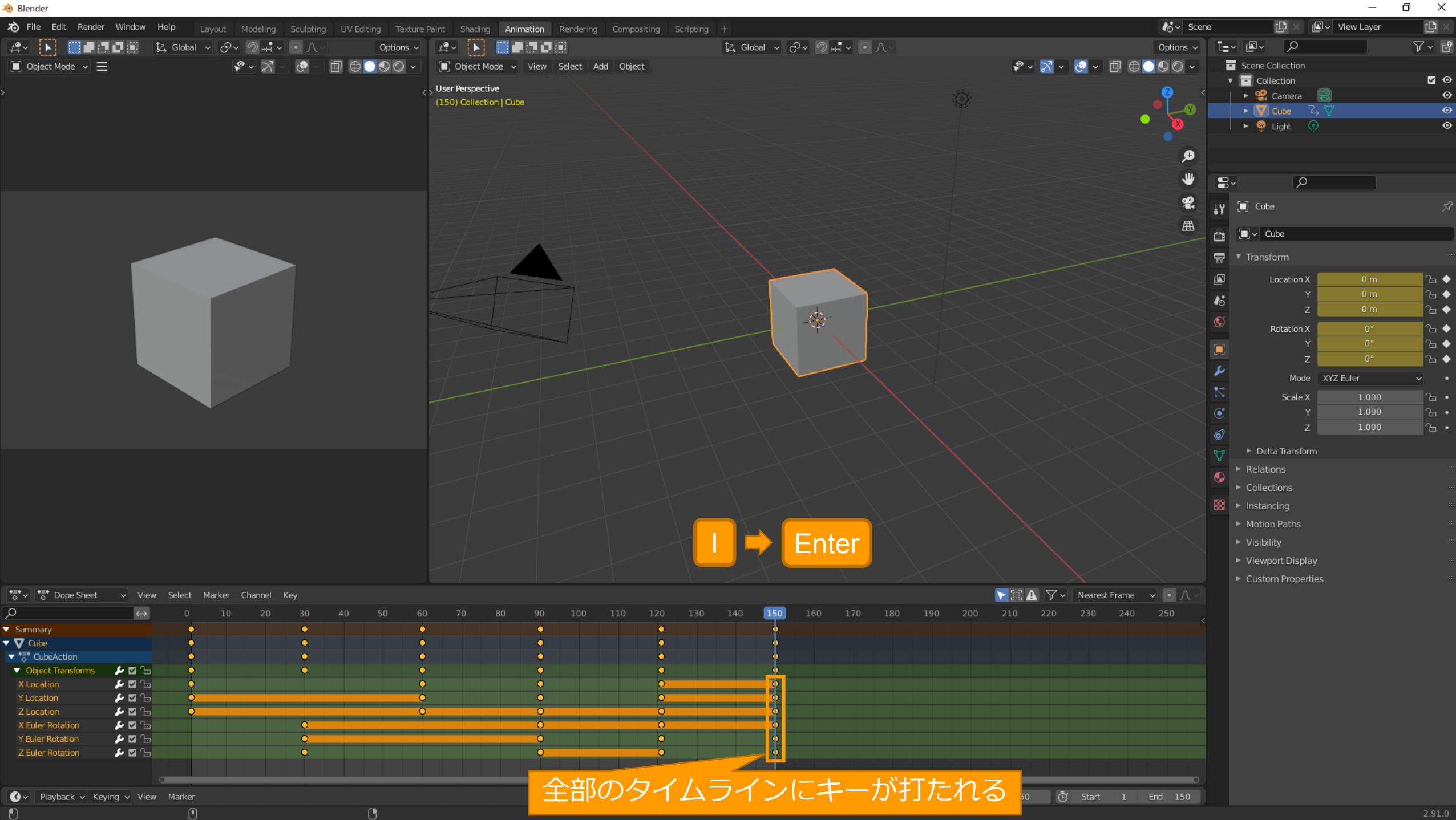




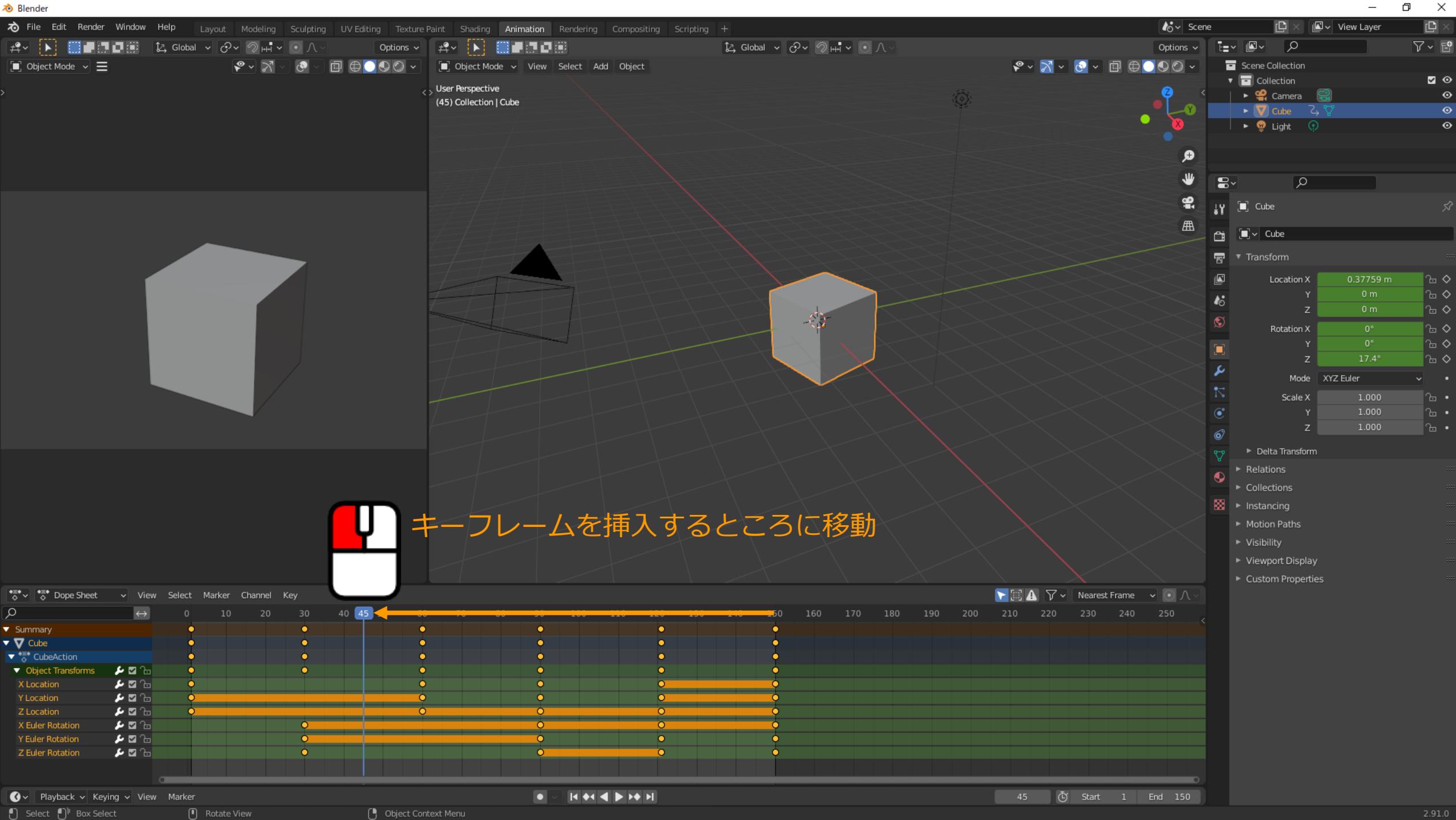


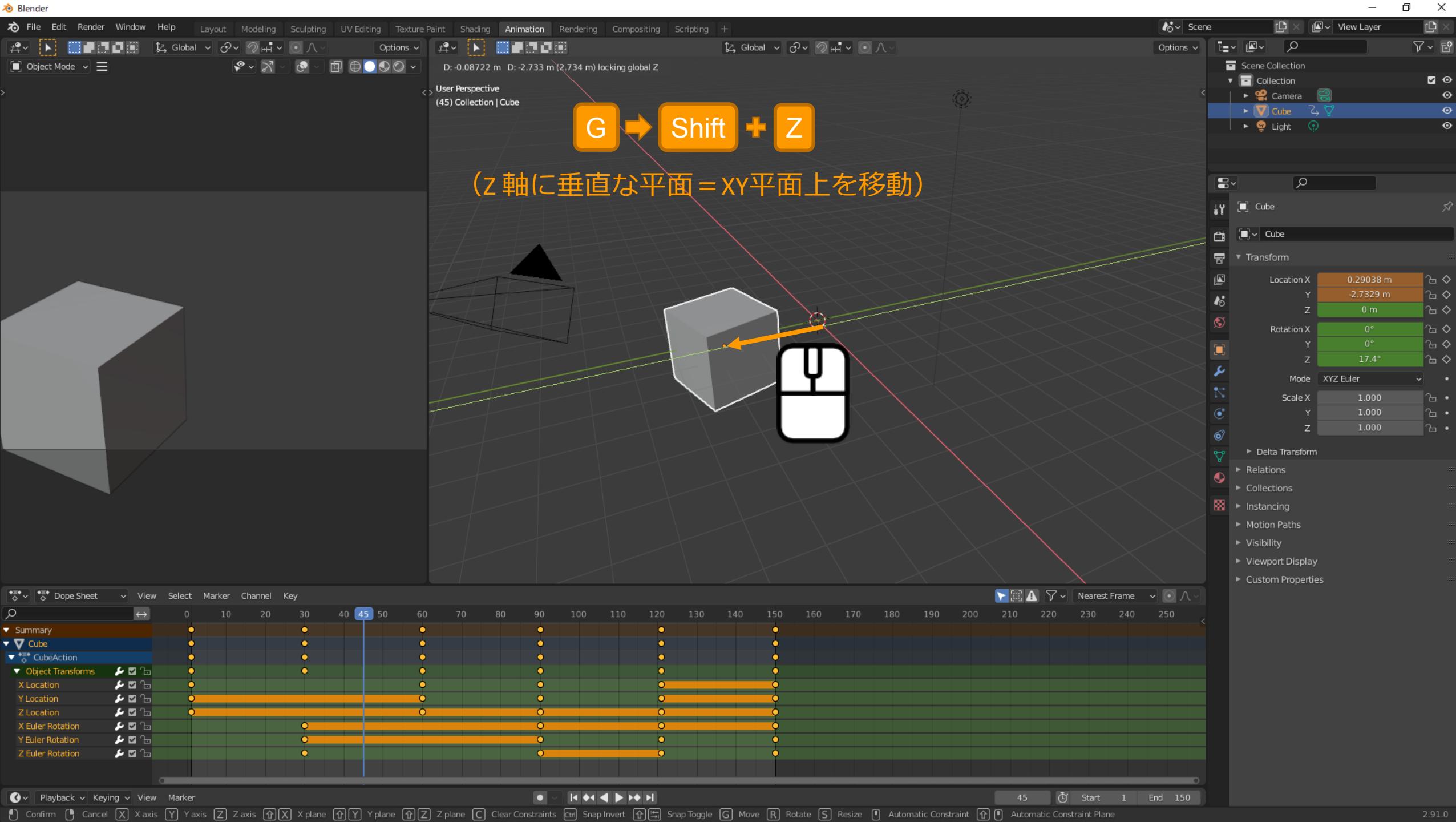


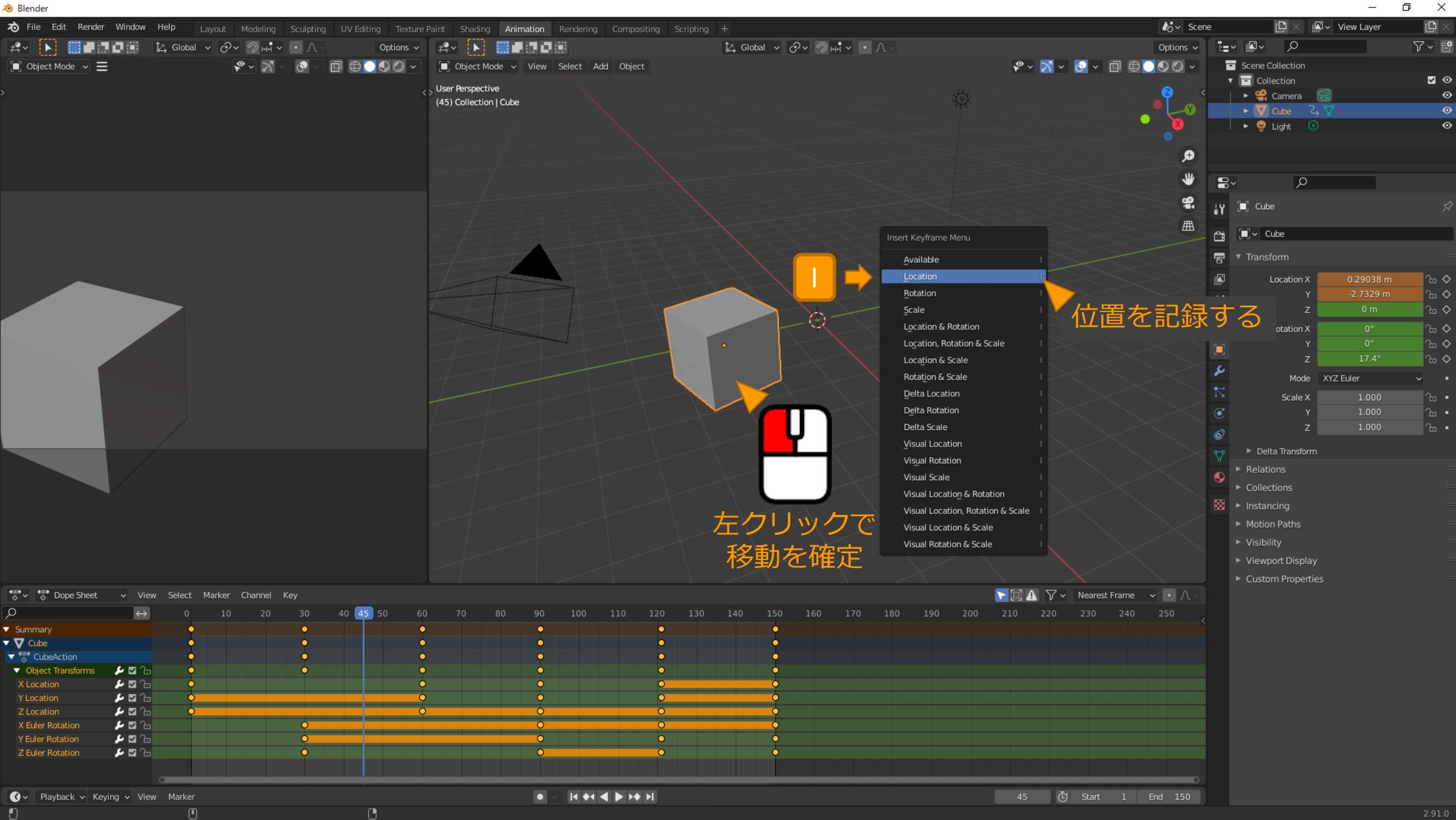


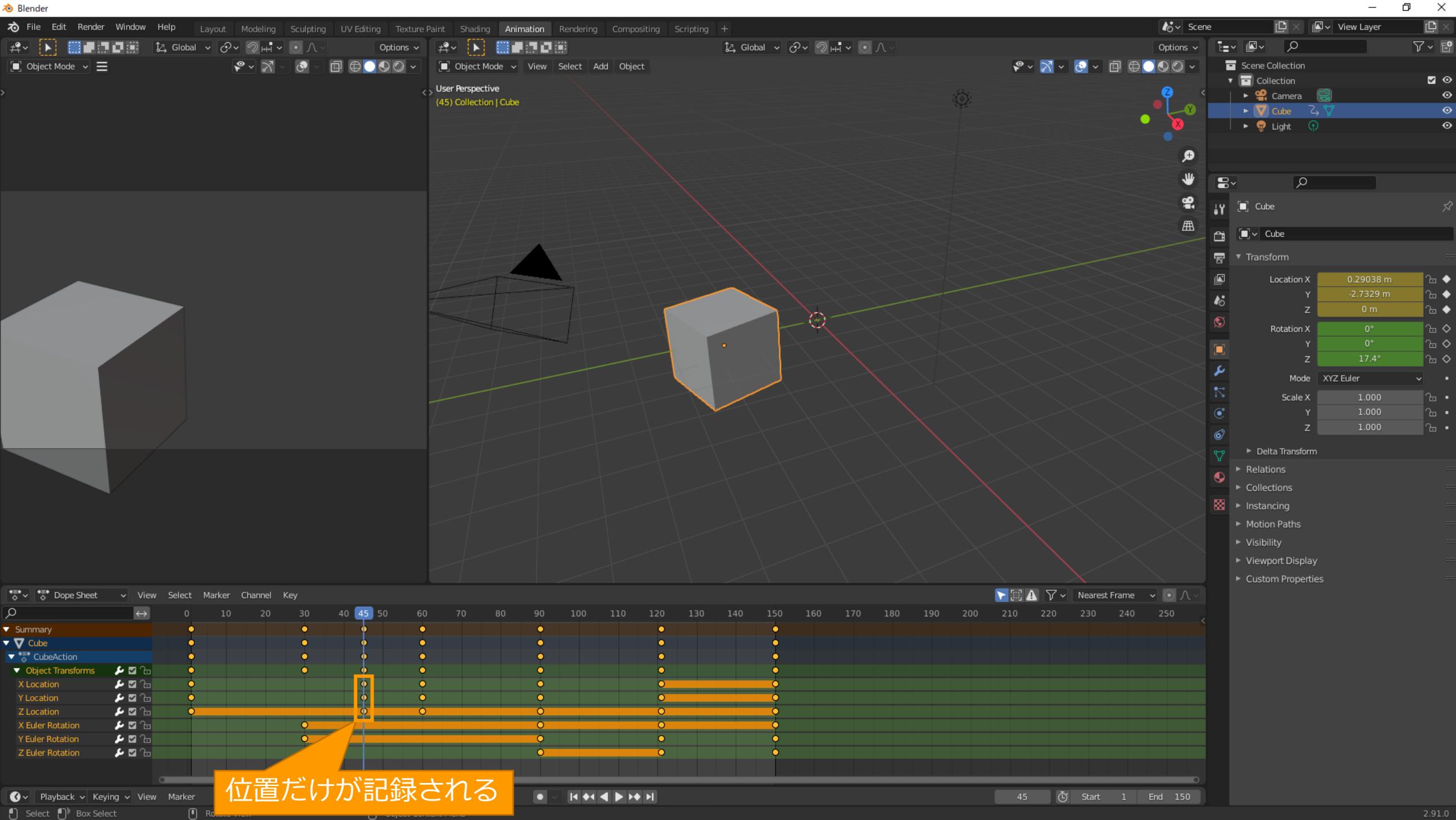


全部のタイムラインにキーが打たれる

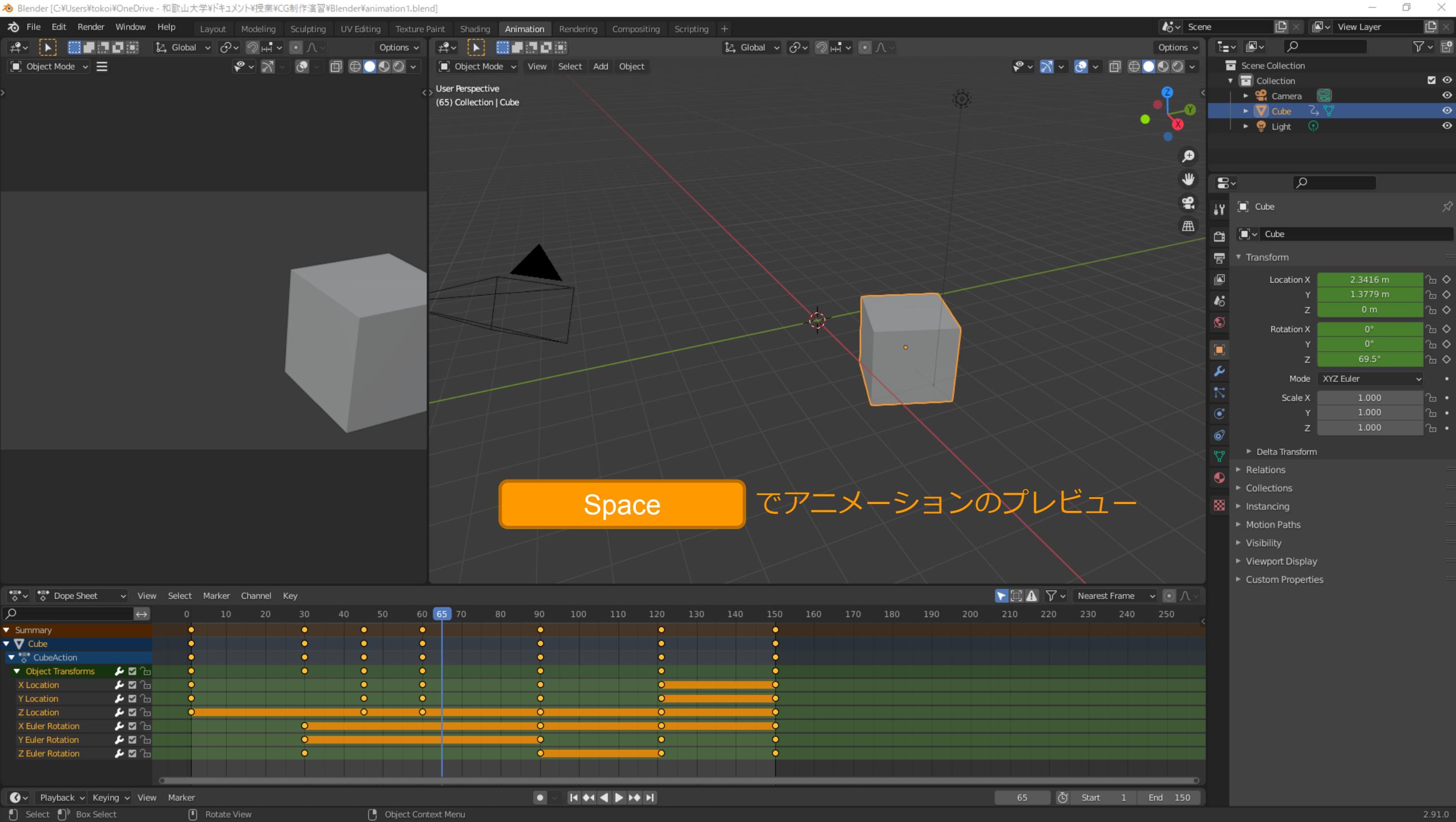




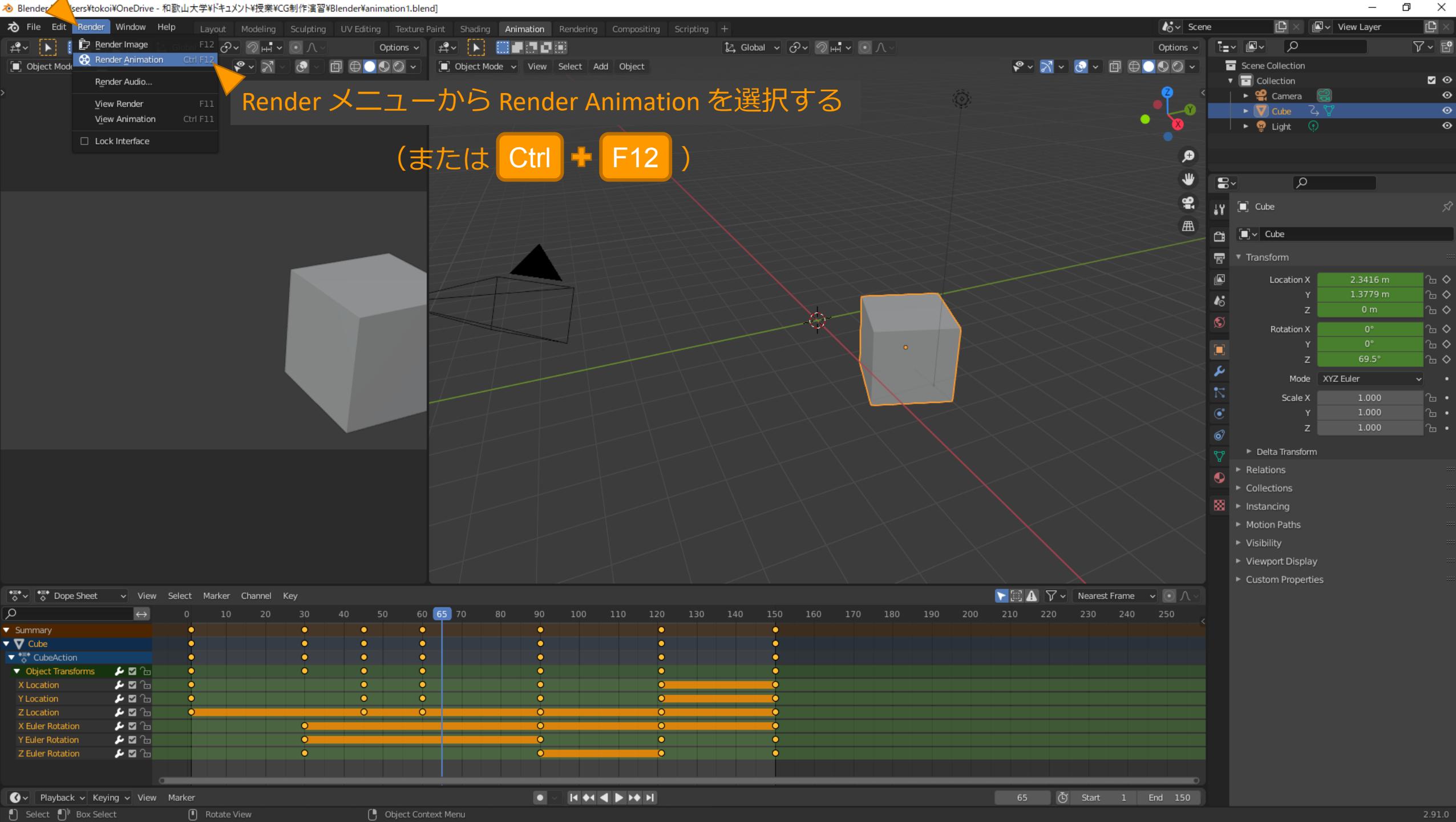




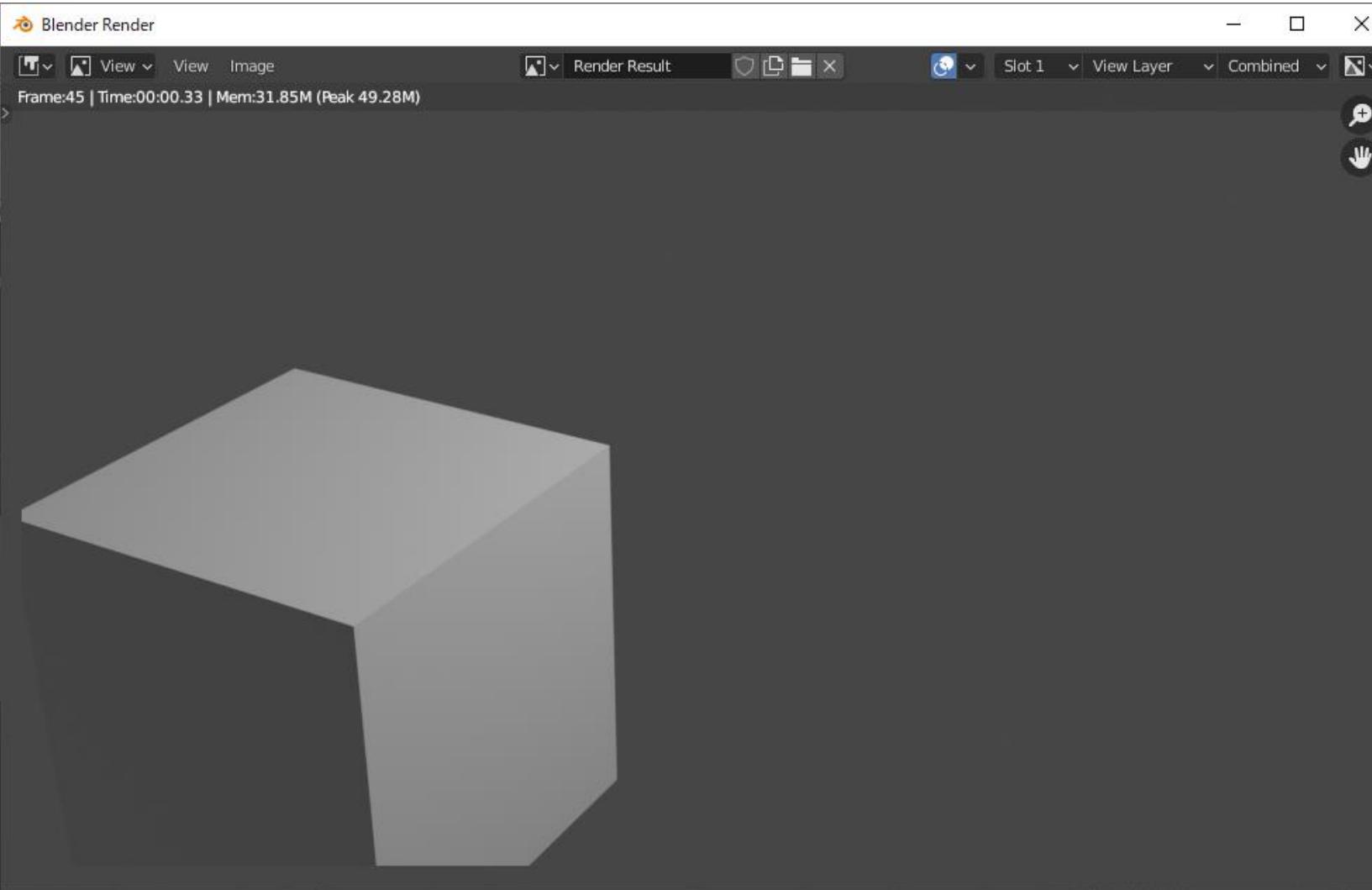
位置だけが記録される



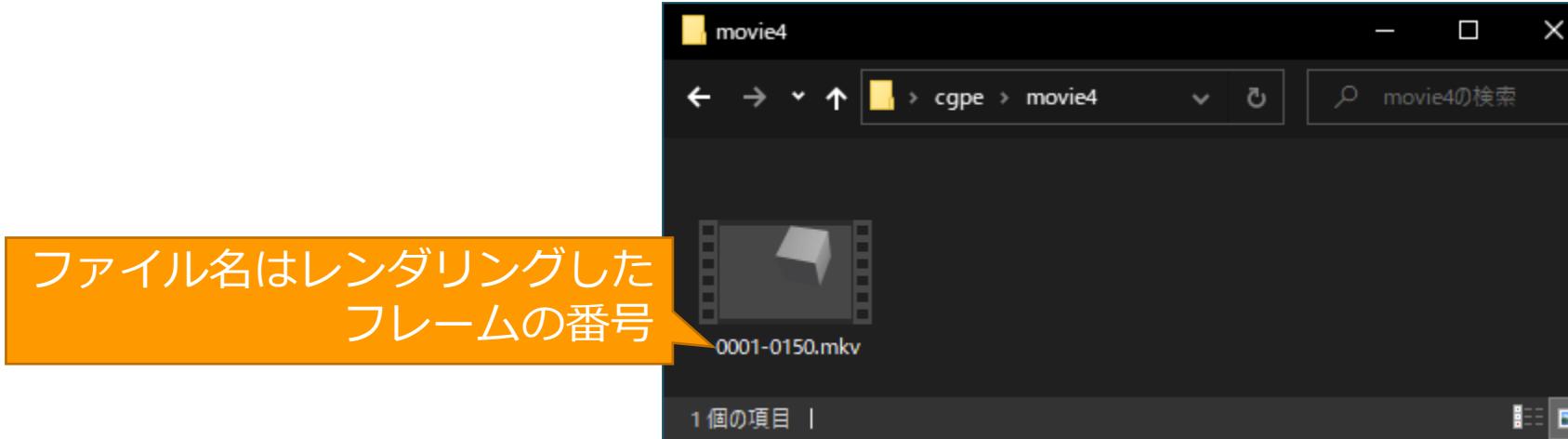
ムービーのレンダリング



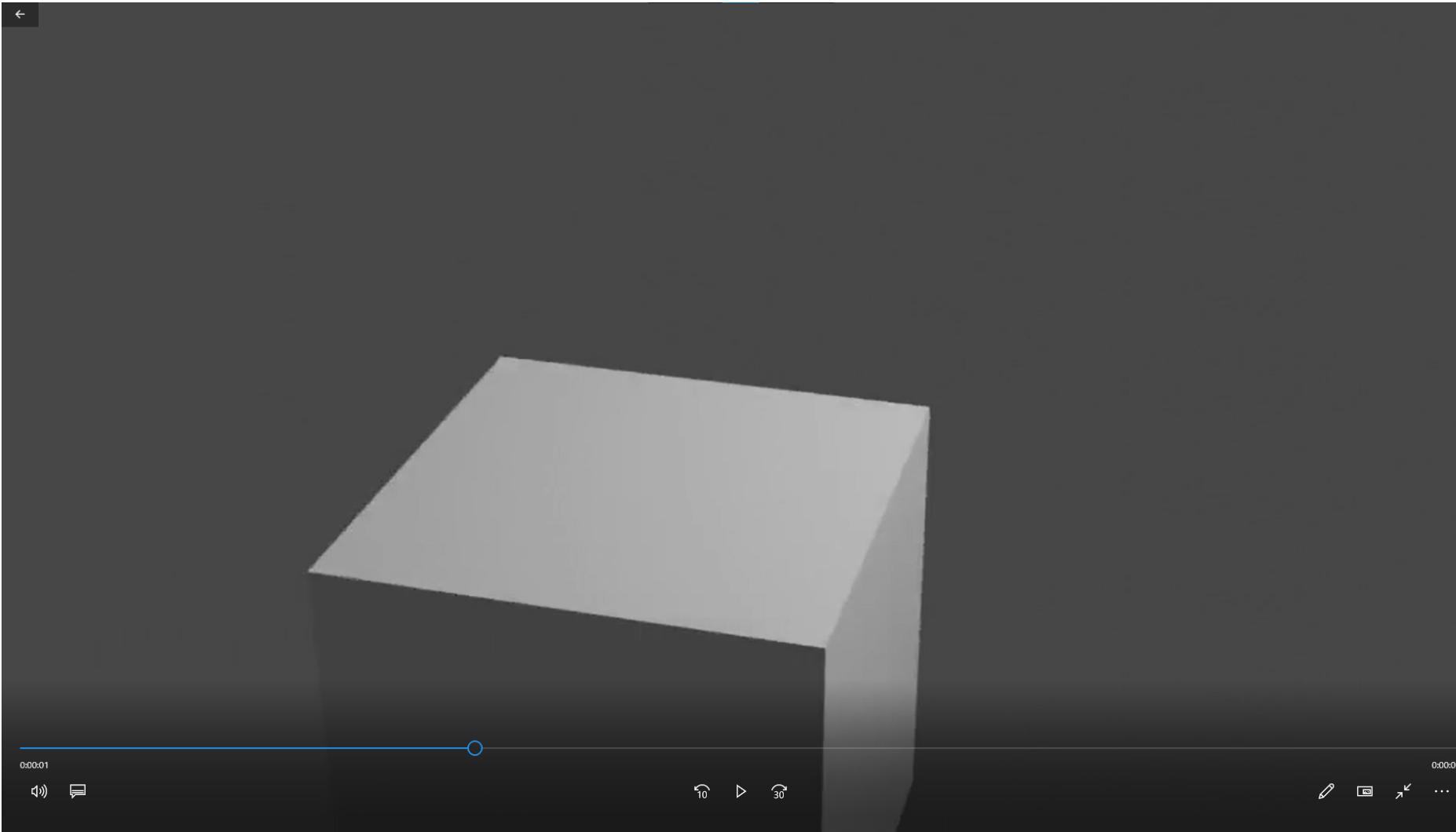
レンダリング中



レンダリング終了

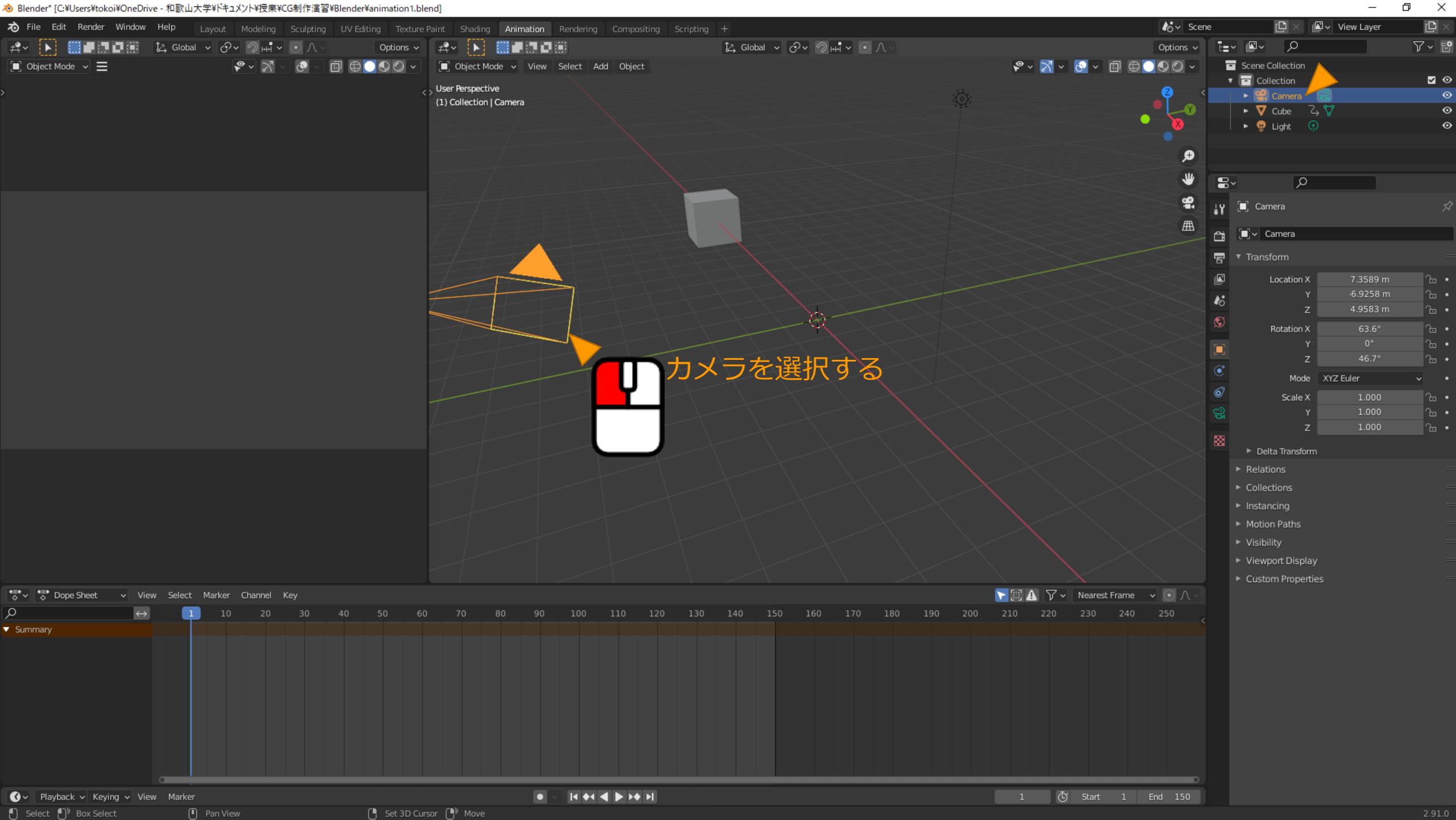


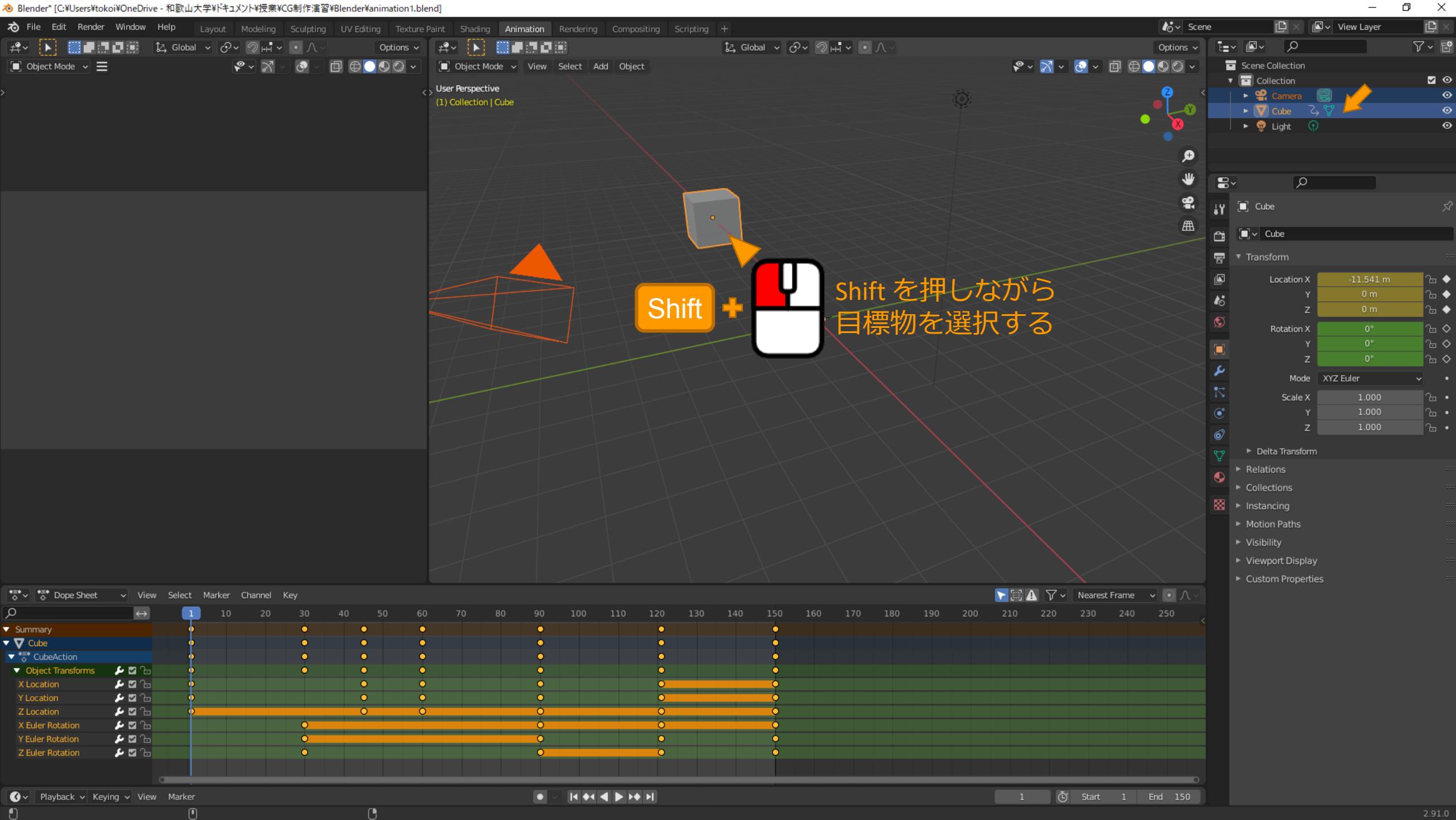
レンダリングしたムービーの再生

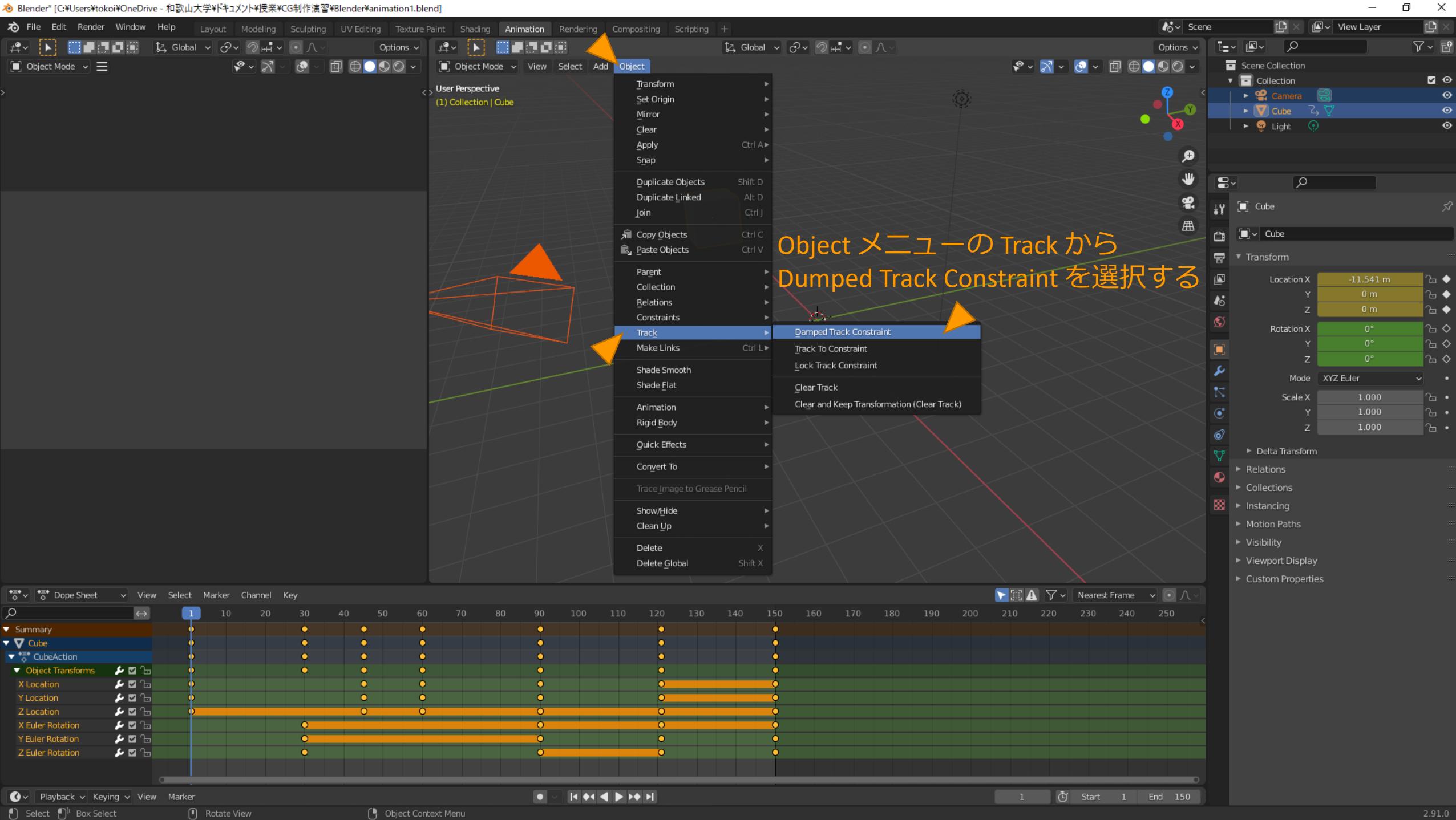


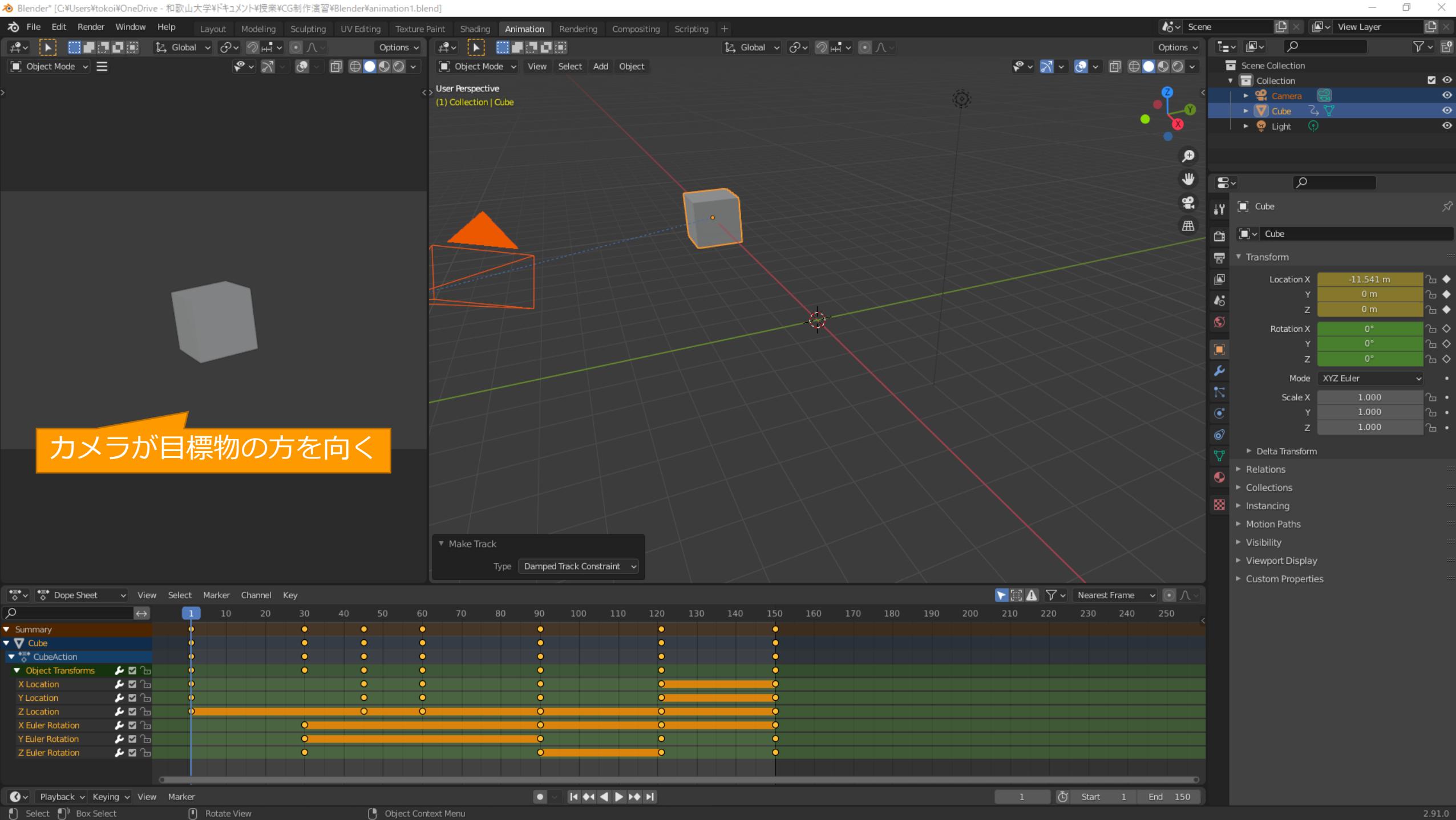
トラッキング

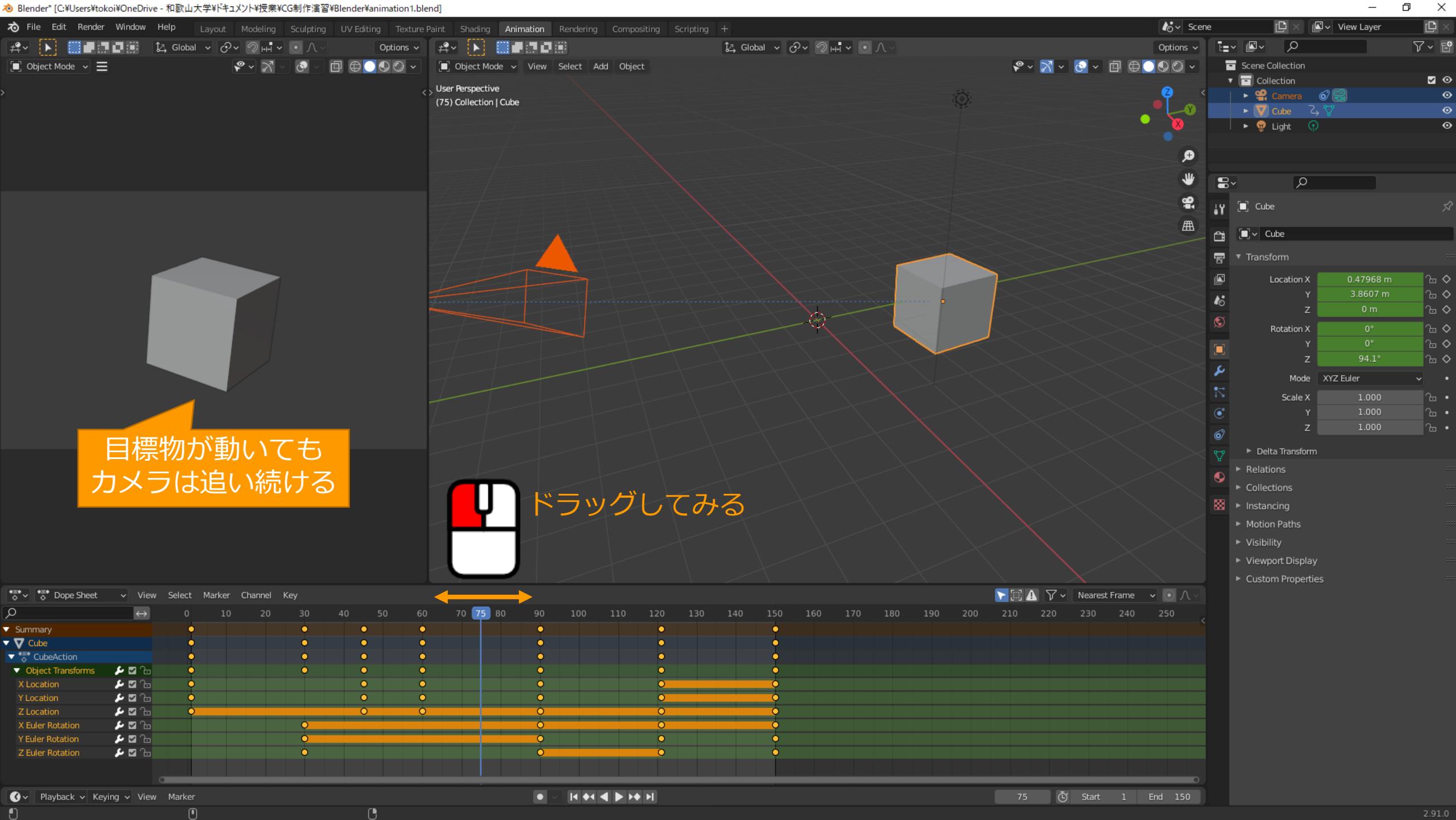
目標物を追いかける

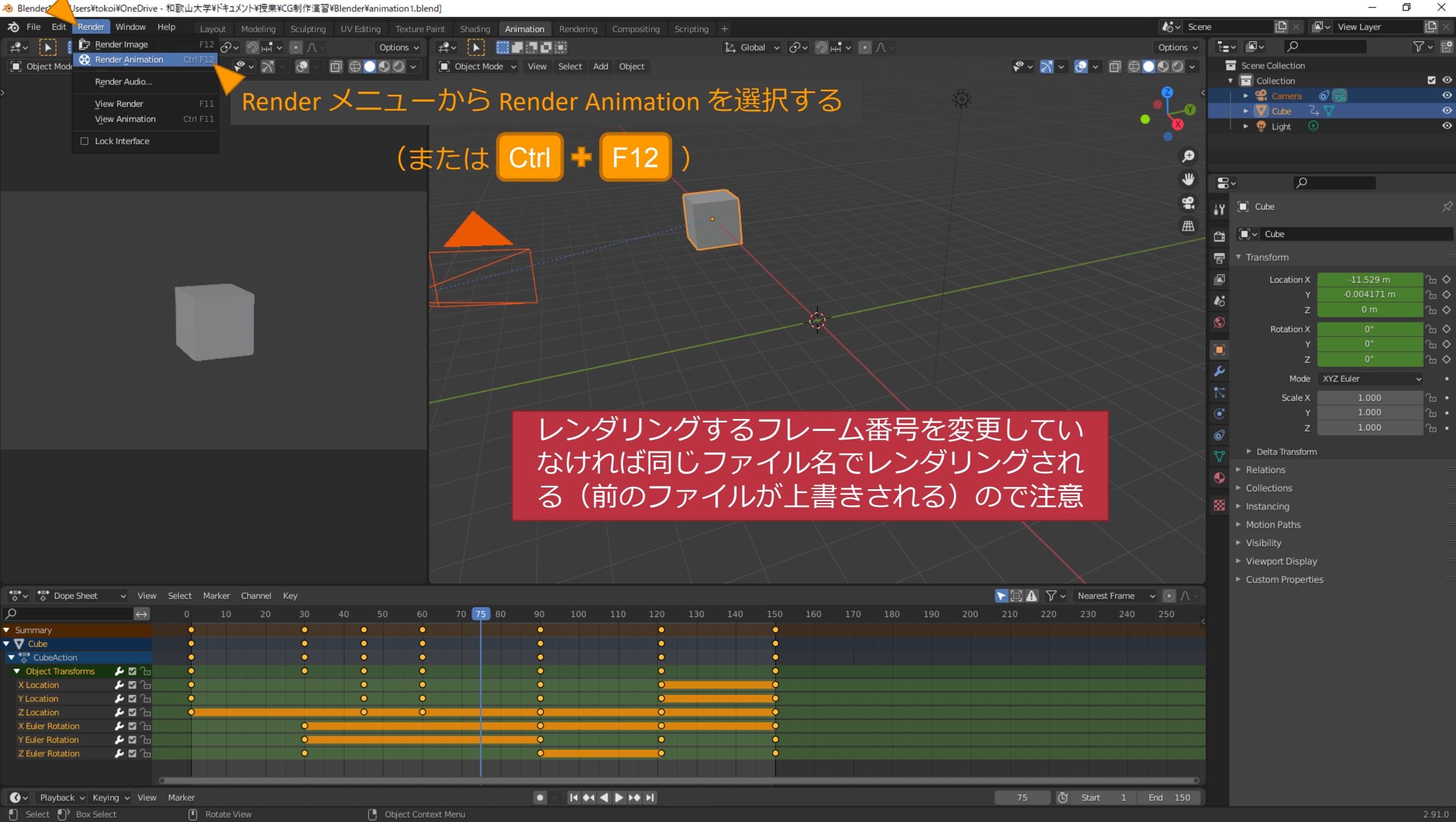






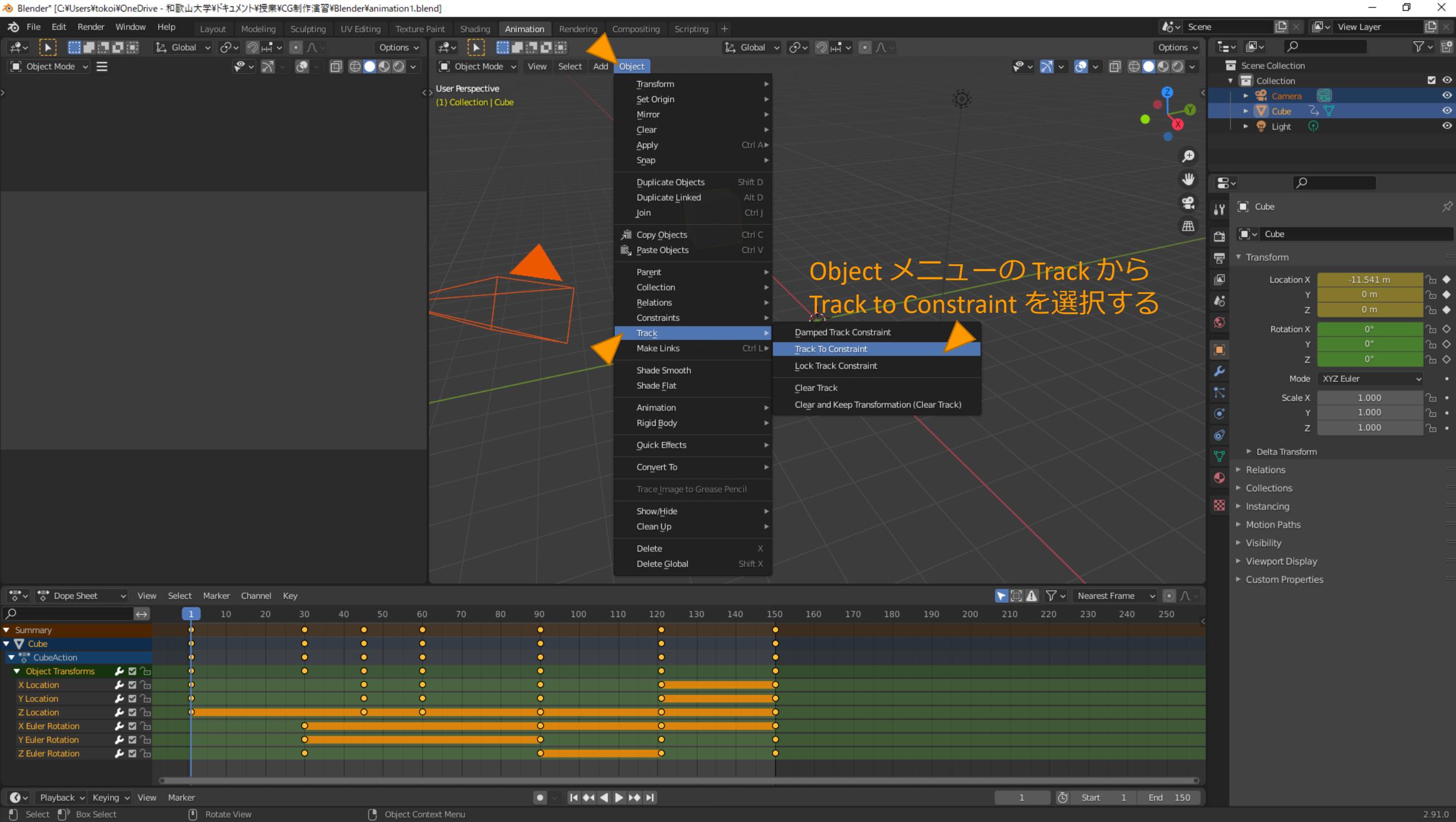


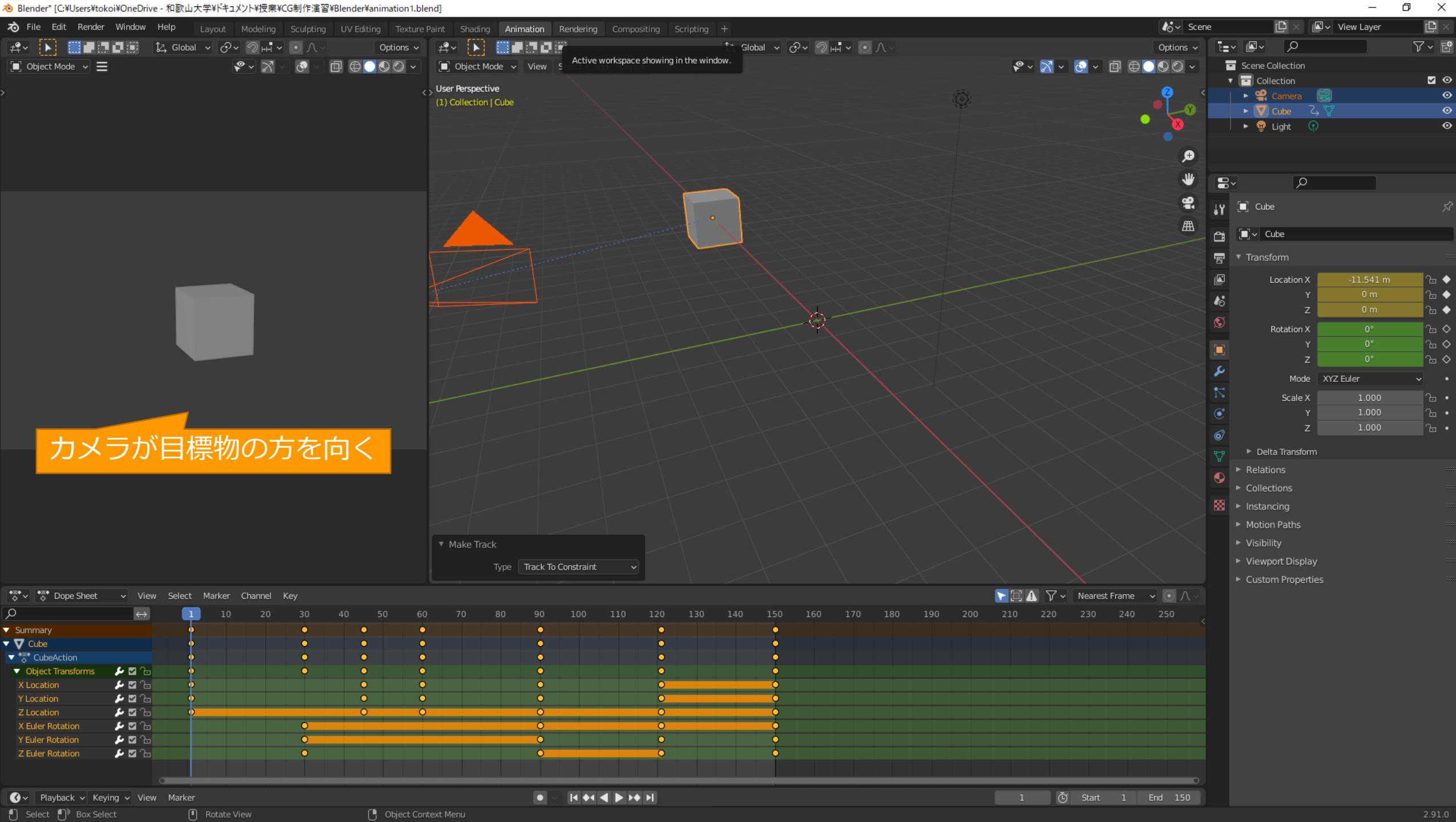


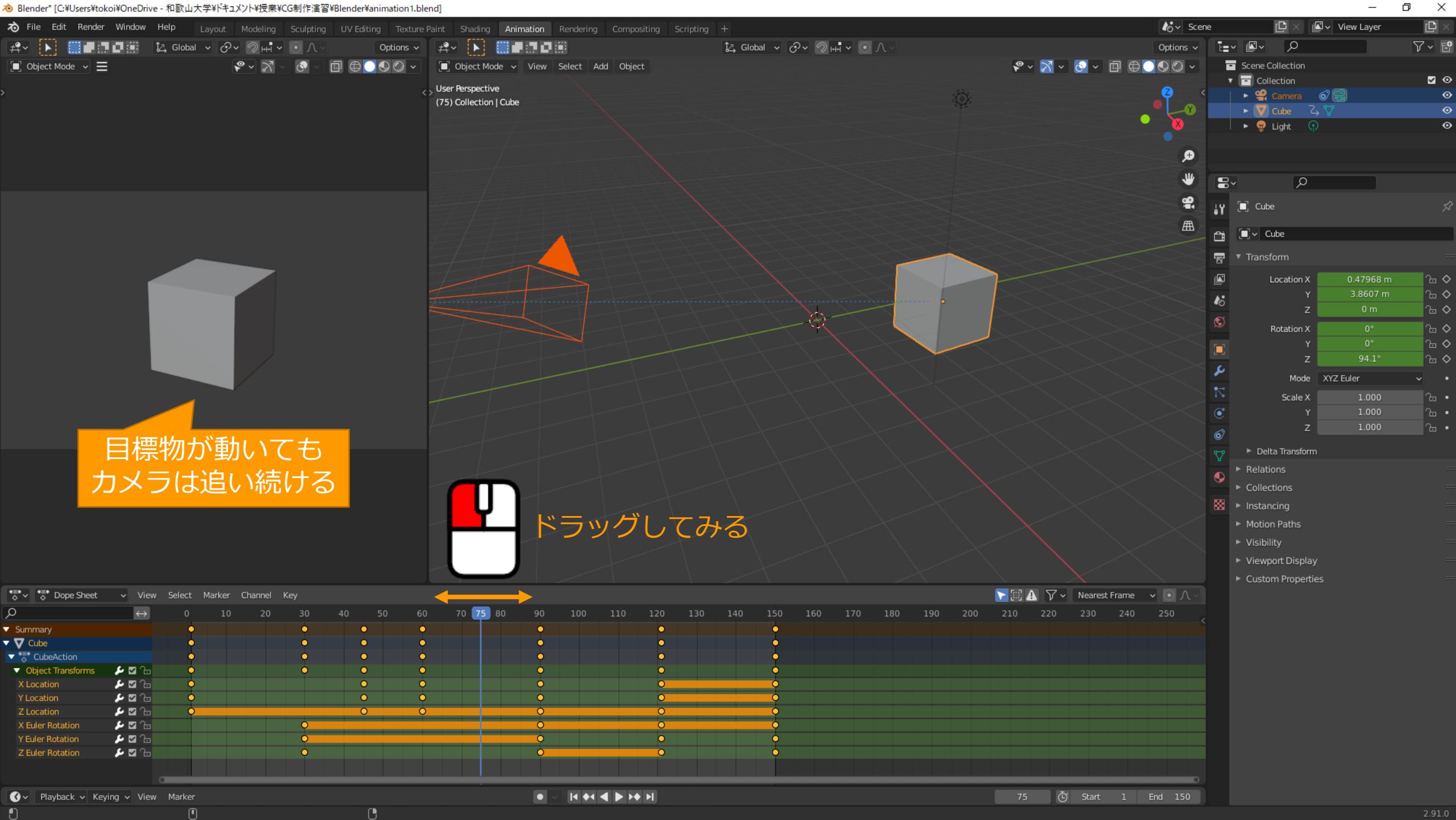


Track to Constraint の場合

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







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