

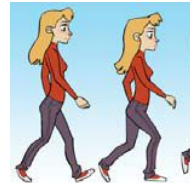
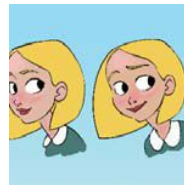
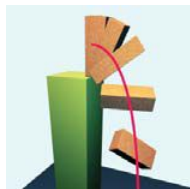
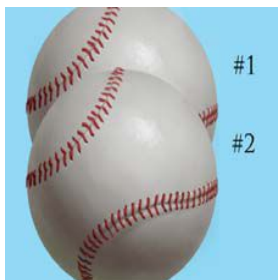
全てのフレームで何が起きているかが大事なのではなくて、
それらのフレームの間隔（スペーシング）が大事なのだ。

www.AnimationPhysics.com
June 2011

” Neighbors” でアカデミー賞を取ったアニメーター
ノーラン・マクラレン

タイミングとスペーシングの性質

このチュートリアルでは、加速を伴うボールの落下の例などを通して基本的なタイミングとスペーシングの説明をする。この重要な原理はジャンプするキャラクターや滝の落下する水など複雑なアニメーションにも同じように応用できることを理解するだろう。



© 2011 Alejandro L. Garcia
Creative Commons Attribution-
Noncommercial-Share Alike 3.0
United States License

ボールの落下アニメーションテスト

代表的なアニメーションの初期練習としてボールの落下がある。
これは一番シンプルなエクソサイズである。
講図としてはフレーム内にボールが一つあるだけである。

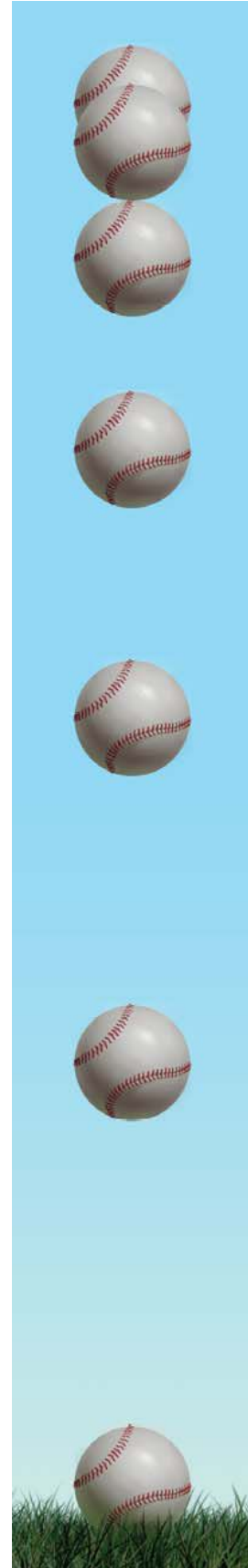
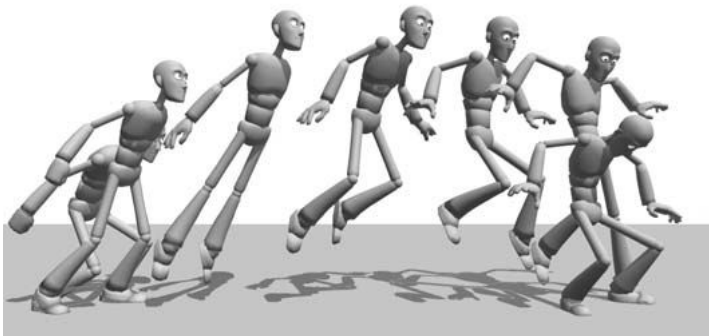
とはいえ、ボールをリアルに動かすのは簡単ではない。
この課題の要点は、各フレームでボールをどう描くかではなく、どの位置に描かれるべきかを理解すること。もう一つは、タイミングと間隔の取り方の基本を理解することである。

ボールを右の図のような間隔で描いたと仮定する。
これで正しいと思うか？間隔に傾向性を感じるか？

1枚のボールの絵から次の絵までどの位時間が必要だろう？
1コマずつ描くか？2コマずつか？もっとか？タイミングはボールの大きさに関係するか？重さに関係するか？
このチュートリアルでは、物理的に正しいタイミングとスペーシング（間隔）でリアルに見せる方法を勉強する。

作成するシーンの状況設定によってはリアルな動きをデフォルメする必要があるかもしれない。その場合は、最初にリアルな動きを作ればデフォルメが容易になる。

このチュートリアルで解説する落ちるボールの原理はジャンプするキャラクターのアニメーションや、水のような自然現象のアニメーションにも応用できる。



フレーム、キー、秒数

Frame	Key Pose
1	#1
2	/
3	/
4	#2
5	/
6	/
7	#3
8	/

▲アニメーターは3種類の違ったタイミング法を使う。

- ・フレーム数（1秒間24コマ）
- ・キー数（キーポーズの数）
- ・秒数（実際の秒数）

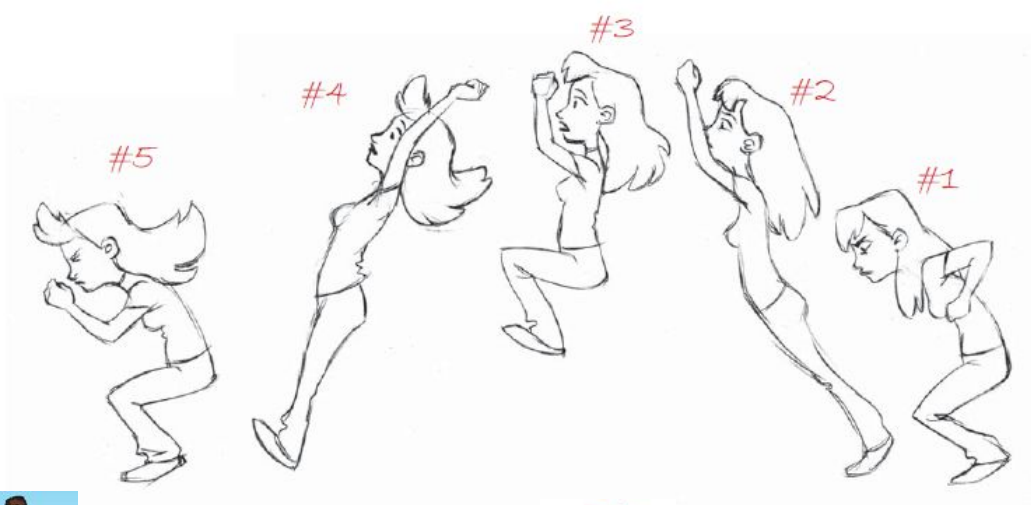
例えば、ストップウォッチを使いカットの長さを把握する（もしくは決める）それからキーポーズ数を割り出す。（フレーム数はタイムシートに表示される）

この例では、キーポーズ#1はフレーム1に、キーポーズ#2は、フレーム4になどなど・・・。

このように3フレームごとに違う絵を1枚撮影するのを3コマ撮りという。

このジャンプの#1～#5のアニメーションのように、私達が視認できるのは10分の1秒程度である。

さらに、下記の原画はブレイクダウンとインビトウィンを追加される可能性がある。



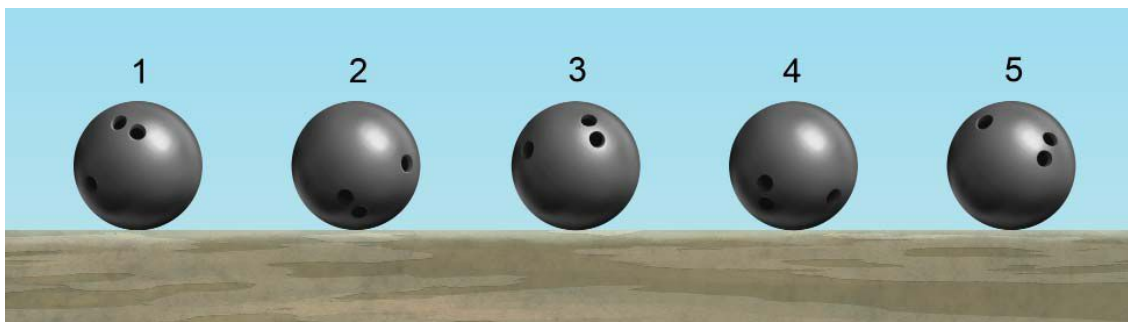
このチュートリアル の例題ではキーとキーの間は全部同フレーム数にしてある。実際の現場ではキーとキーの間で、違うフレーム数は存在するが、このチュートリアル の例題は、説明の都合上シンプルに同じとする。



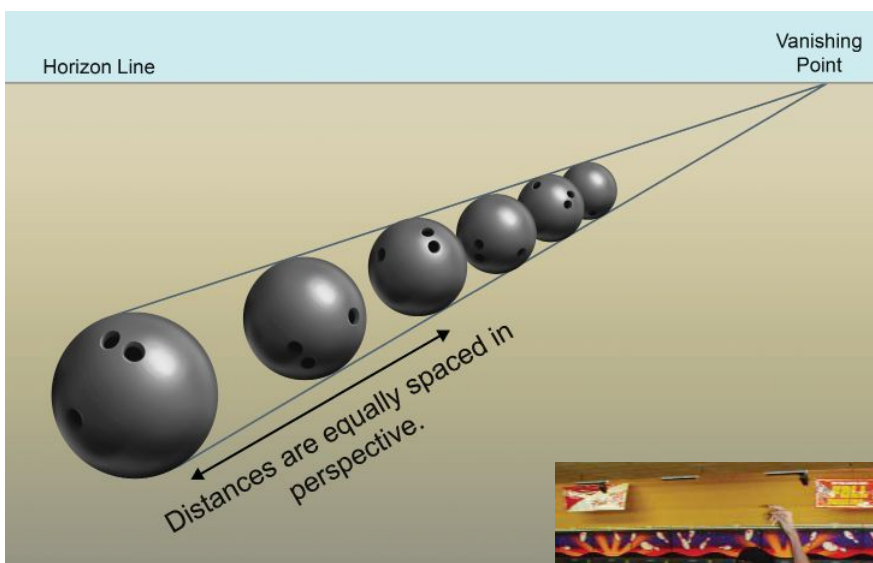
注：アニメーションでは違ったフレーム数を使う。
フィルムは1秒に24コマ
ビデオは1秒に30コマ

一定運動

シンプルな動きとして規則的な動きがある。床を転がるボーリングのボールは良い例である。この運動の特徴はスピードが一定である事。それによってフレーム間のスペーシングも一定になる。間隔が大きい程、ボールの移動速度が速くなる。



規則的な運動の表現は、遠近法の構図中において有効的ではない場合がある。例として、下の写真にあるような手前からおくにボールが移動するような場合だ。



タイミング、間隔、スピード

タイミングとスペーシングは人（物体）の移動のスピードを表現する。

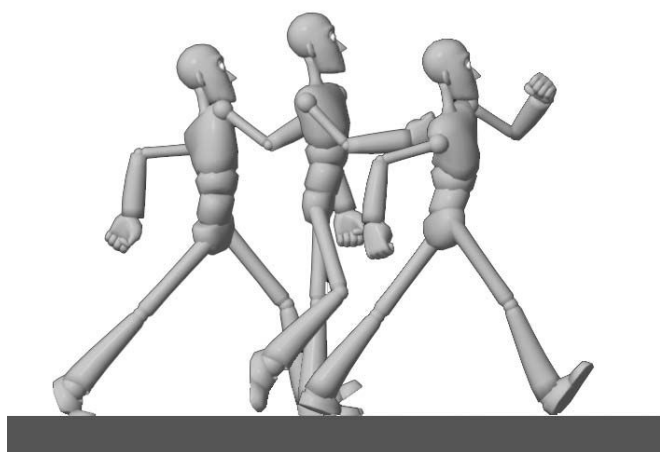
右上の表は、毎時ごとに移動する距離（時速）をフレーム毎の移動距離と秒ごとの移動距離（秒速）に変換する表である。

通常、距離の測定はフレーム単位ではなくポーズ単位で計る。例として、あなたのキャラが1時間に4マイル（6.4km）の早歩きをしている。ポーズ間のフレーム数は6フレームなので距離は大体18インチ（45.7cm）となる。

表より参照→（6フレーム×3インチ）

Miles per Hour	Inches per Frame	Distance per Sec.
2	1 1/2	35 inches
4	3	70 inches
10	7	14 2/3 feet
30	22	44 feet
60	44	88 feet
90	66	44 yards

参照：1Inch=2.54cm / 1Mile=1.6km / 1Foot=30.5cm



この表は他にも便利な点がありシーンのステージングにも役立つ。例えば、もしキャラが1時間に10マイル（16km）の全速力で走っている場合、1秒あたり15フィート（約4.57m）の間隔が必要となる。

普通の歩行速度は3マイル（約4.8km）、走行速度は6～10マイル（約9.7km～16km）

質問：次の絵の2つのキーポーズの間には3コマある。これはどの位のスピードになるのか？



答え：このスペーシングだと約50cmだから48km出してる。アブねぇ！

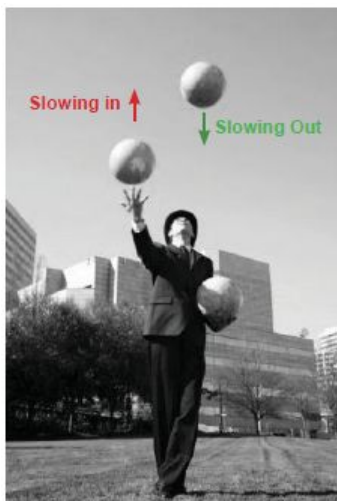
スローインとスローアウト

物体の運動が一定ではない時、物体が加速、減速、方向転換した場合。

物体（人）が減速した場合、絵と絵の間隔が狭くなる。アニメーションではそれを”スローイン”（イーजीイン）という。ソリが摩擦で減速するのはスローインの良い例である。

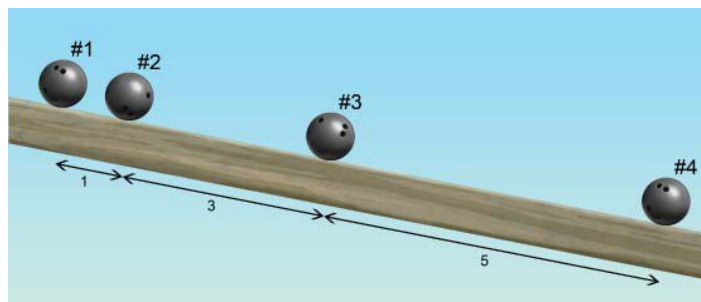


上に投げたボールは、頂点（apex）に近づくにつれてスローインし頂点（apex）から落下する時にスローアウトする。



apex とは、物体が 1 番高い頂点か、1 番遠い先端部分に移動する場所である。

もし物体が加速する場合、絵と絵の間隔が広くなる。アニメーションで、これを”スローアウト”（イーजीアウト）という。斜面を転がるボールはスローアウトの良い例である。



スローイン、アウトはフランク・トーマスとオリー・ジョンストンが書いた” *The Illusion of Life* (生命を吹き込む魔法)” に記されたアニメーションの法則の一つである。彼らは「それはとても大事な発見で、タイミングとステイジング（演出）を工夫する基本となった。」と述べている。

apex（起点）からの落下距離

以下の表は、まっすぐ落下する物体の一定時間（またはフレーム数）ごとの apex(起点)からの距離を示している。

Time (sec.)	Frames	Distance Fallen from Apex
1/24	1	1/3 inch
1/12	2	1 2/3 inches
1/8	3	3 inches
1/6	4	5 1/3 inches
1/4	6	1 foot
1/3	8	1 3/4 feet
1/2	12	4 feet
2/3	16	7 feet
3/4	18	9 feet
1	24	16 feet
2	48	64 feet



（#2）は、apex(起点)にいるボール（#1）より約 1 1/3 インチ（約 3.4 cm）移動している。つまり、ボールの直径 4 インチ（約 10cm）の 1/3 移動している。

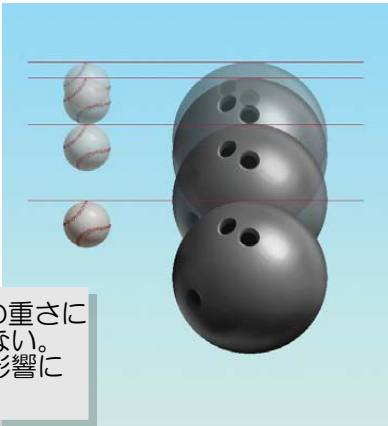
この式を使って apex(起点)からの落下距離を見出すことができる。

（距離）＝（約 0.85cm）×（フレーム数）×（フレーム数）

※インチをセンチに換算しているため多少誤差が出る。

例えば、6 フレーム後の落下距離は（約 0.85cm）×（6）×（6）＝ 30.6cm である。

質問： 5 フレーム後の落下距離は？



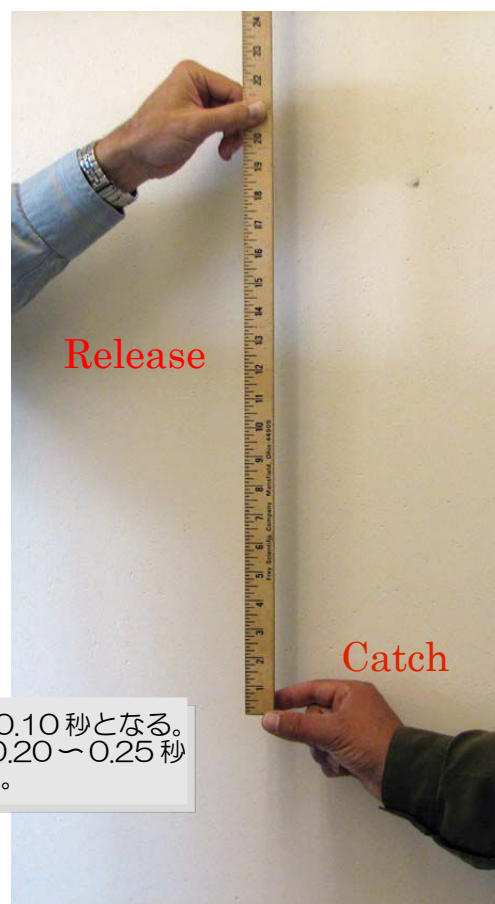
空気抵抗がほとんど無い場合には、物体の重さによって落下する移動距離が変わることはない。このチュートリアルの後半で空気抵抗の影響について説明する。

答え：（約 0.85cm）×（5）×（5）＝ 約 21.25cm

反応時間

Distance	Time (sec.)
1"	0.07
2"	0.10
3"	0.12
4"	0.14
5"	0.16
6"	0.17
7"	0.19
8"	0.20
10"	0.23
12"	0.25
14"	0.27
16"	0.29
18"	0.30

この表は、物体が落下する距離と時間を表している。
写真に示すように、反応時間の測定に便利である。



通常、落下する物体を視認できる時間は0.10秒となる。
視認後、反応して掴むまでの時間は、約0.20～0.25秒
です。視認して反応するには誤差がある。



実験：友人に1ドル札のジョージワシントンの頭あたりに親指と人差し指を置いてもらう。あなたは合図無しで落すそれを友人にキャッチしてもらう。恐らく掴めないだろう。

通常、落下に反応するまで0.20～0.25秒かかる。ドル紙幣の長さは3インチ（7.62cm）で、表で見ると0.125秒以内に反応しないと掴めないということだ。



注：ストップウォッチを押す場合に、視認と身体反応の誤差を考慮する必要はない。ストップウォッチのSTARTとSTOPを押す時は視認しないで、ボタンに指を置いたままで直接反応するので、反応時間の誤差はほとんどない。

ボール落下の準備

直径約4インチ（10cm）のボールを4フィート（122cm）の高さから垂直に落とすとする。

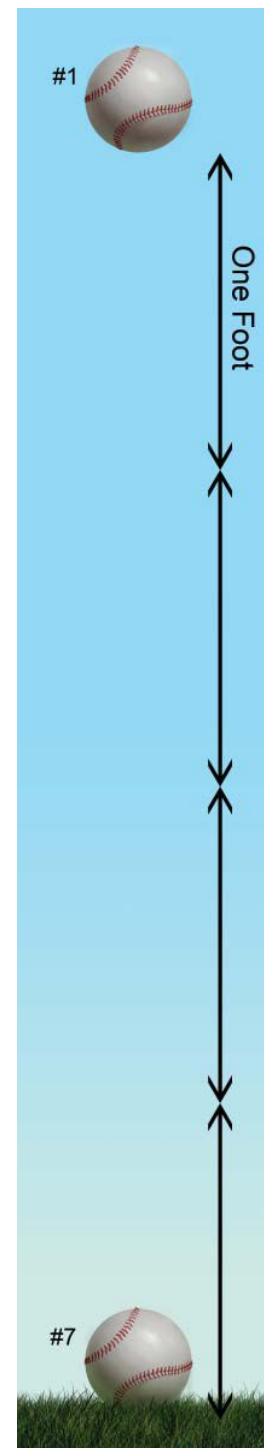
apex（起点）からボールが地面に当たるまでの必要なフレーム数は？

落下距離表（7ページ）では4フィート（122cm）落とすには12フレーム必要とある。最初のフレームapex（起点）を含めて13フレーム必要となる。

さて、2コマ撮影するとして（1枚の絵を2フレーム撮影する）、下の表からわかるように（key#1）から（#7）まで7枚の絵がある。

Frame	Key Pose
1	#1 (apex)
2	/
3	#2
4	/
5	#3
6	/
7	#4
8	/
9	#5
10	/
11	#6
12	/
13	#7

次の質問：#2から#6までのキーをどこに描くか？



ストレート・アヘッドアクションとポーズ・トゥ・ポーズ

アニメーションには2つの技法ある。

ストレートアヘッドアクションとポーズトゥポーズだ。

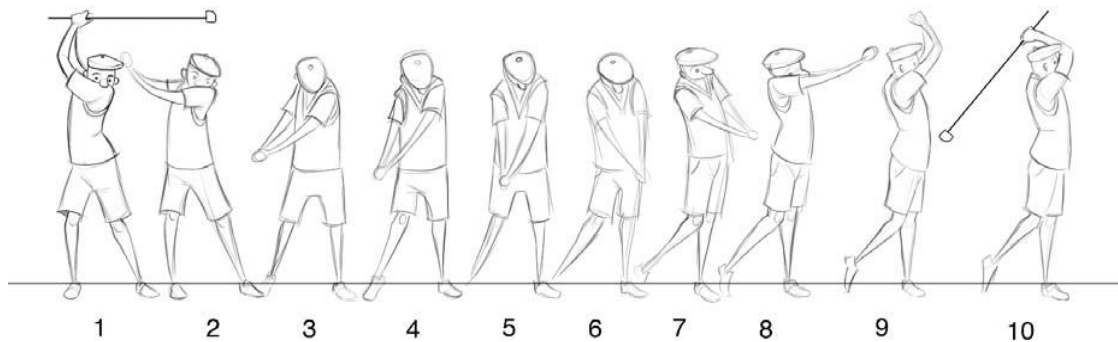
ストレートアヘッドアクションは最初の絵と、大まかな構成を考えておく必要がある。

例として、ゴルフのスウィングを 1/2 秒くらいで大体 9 ~10 フレーム（1コマ撮り）を作成する。

まず初めの絵「1」を描いて次に2コマ目の絵を描くという感じに進めていく。作業する場合に全部で9または10枚の絵で完成することを念頭に置いて作成する必要がある。

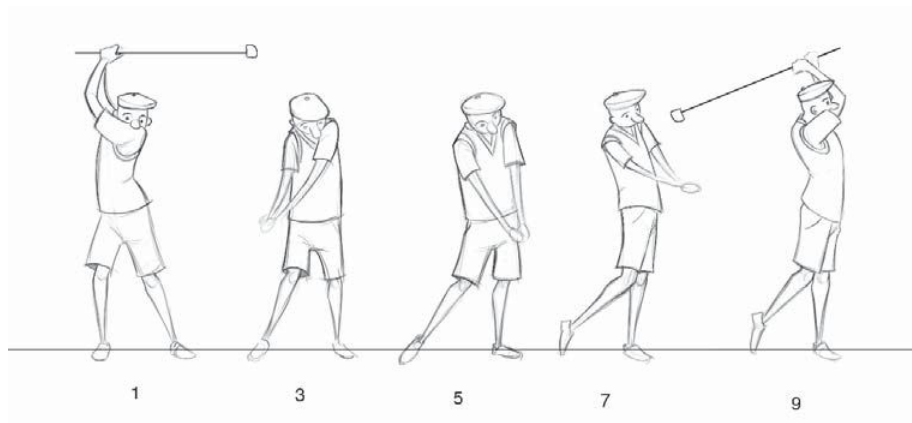


注："ストレートアヘッドアクションとポーズトゥポーズ"や他の技法も、ディズニーのアニメーション原則である。

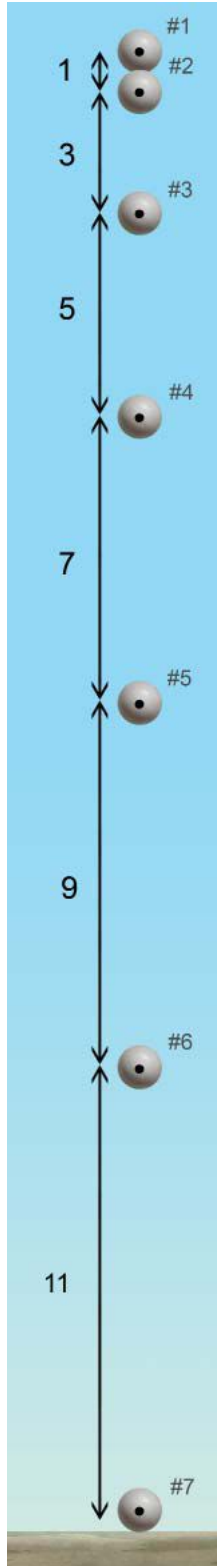


ポーズトゥポーズは計画先行法である。まず最初の絵と最後の絵を描く。タイミングに沿って間の動画の枚数を決め動画（中割り）を描いていく。

例として、まず#1と#9を描き、#5の中割りを描き#3と#7を追加する。もし1コマ撮りにしたい場合は偶数番号の動画を描き足す。



The Odd Rule (奇数のルール)



落下する物体のスペーシング（間隔）はシンプルである。

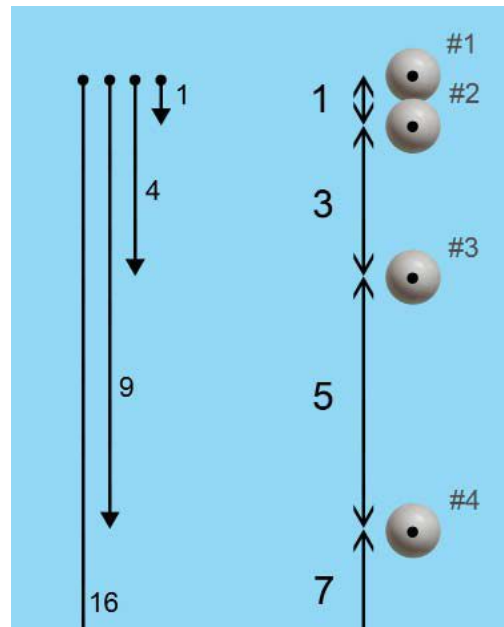
奇数番号（1,3,5・・・）が使われるため” The Odd Rule(奇数のルール)”と呼ばれる

頂点の位置から順に間隔の比率が1：3：5：7・・・となる。

もし、あなたが物理学を取ったことがあるとしても、この加速の法則は聞いたことがないだろう。

物理学は起点から全体の距離を測定して・・・比率 1：4：9：16・・・もしくは 1の2乗、2の2乗、3の2乗・・・

この図のように物理学者の説明と The Odd Rule は完全に同じ結果になる。



卓球のボールの4フィート（122cm）の高さから落下。（2コマ撮り）ボールの直径 1 1/2インチ（約1.27cm）

ストレートアヘッドアクションと The Odd Rule (奇数のルール)

さて、The Odd Rule をどうストレートアヘッドアクションに活用できるのか？

覚えておいてほしいのは我々は2コマ撮りを前提にしていること。

7ページの落下距離表には2コマで11/3インチ(約3.4cm)落下とある。つまり落下距離はボールの直径の1/3となる。右図の#2はその位置に配置されている。

次の#3はThe Odd Ruleを適用すると前の移動距離の3倍となり#2からボール1個分の移動距離となる。

次の#4はThe Odd Ruleでは移動距離(#3~#4)は(#1~#2)の5倍あり、その次には7倍となる。

Q: ソフトボールの代りにボーリングのボールを落した場合#2の位置はどこになるか？
(2コマ撮りを前提とする。)

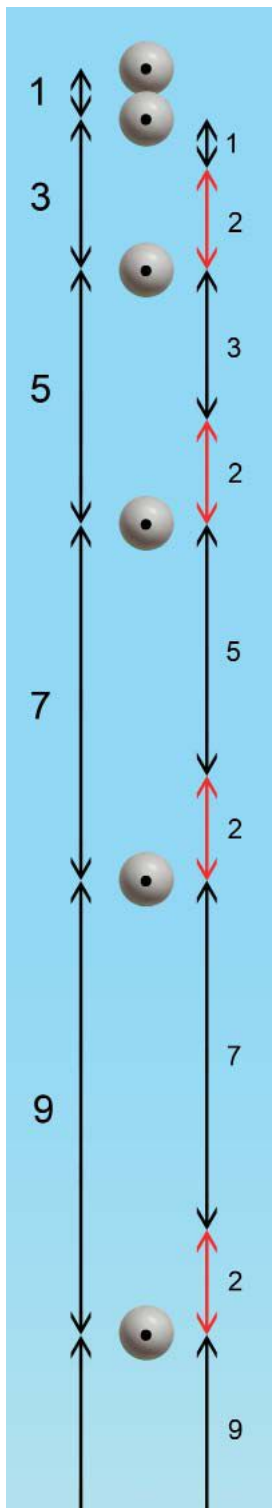
A: ボールの種類に関係なく移動距離は11/3インチ(約3.4cm)である。



重要: The Odd Rule はアニメーションのタイミングやスペーシングの参考として使用するべきで、定規や計算機を使うようなものではない。
参考程度でしか活用できません。
活用法としてはThe Odd Ruleを理解し、直覚的に利用できるようになること。
動きを見た時にリズムを感じられるべきである。
今後、そのような技量がキャラクターがジャンプするなどのもっと洗練されたアニメーションを作成する時に必要になってくるだろう。



The Odd Rule (Increment Version 増加版)



このページでは The Odd Rule を別の視点で考えてみる。
それは、時々思い出しながら使用するのが効果的だ。
キーポーズの間隔は 1 : 3 : 5 : 7 : 9 . . . の比率で起
点から増加し始める。

注意 $3=1+2$

$5=3+2$

$7=5+2$

$9=7+2$

etc.

すなわち、1つ目のキー～2つ目のキーの増加後は、全て
同じ数が増加されることによって長くなる。

どんな物体でも1つ目のキーと2つ目のキーの間隔は
約 8.5cm (1コマ撮り)

約 3.4cm (2コマ撮り)

約 7.6cm (3コマ撮り)

この後全ての原画の間の増加数は

約 1.7cm (1コマ撮り)

約 6.8cm (2コマ撮り)

約 15.2cm (3コマ撮り)

上に表した数字が必ずしも大切なわけではない。

ただ落下する物体の間隔は必ず広がっていき、増加数は
常に同数である。同数の増加数を原画間に加えることでス
ローイン、スローアウトが起こる時リアルになる。



同じ場所で測定している限り、ボールのどの部分から（上
か下か真ん中）距離を測るかは、あまり問題ではない。

スペーシング（間隔）チェック

原画作業が完成したら、The Odd Rule を使用してスペーシング（間隔）が正しいかどうかをチェックするのは簡単です。

2コマ撮りの場合、一番上のボール（#1）と、その下のボール（#2）とのスペーシング（間隔）は $1\frac{1}{3}$ インチ（約 3.4cm）とわかっている。その距離は、偶然にもボールの直径の $\frac{1}{3}$ である。

The Odd Rule では、#2以降全ての増加量は上記の距離の2倍大きさを $2\frac{2}{3}$ インチ（約 6 cm）またはボールの $\frac{3}{2}$ である。

The Odd Rule は基本的には3要素で構成されている。そのうち次の二つは特に重要です。

- ・ apex（頂点）から、原画と原画の間で間隔は広がっていく。
- ・ #2以降、原画間の距離は常に同じ距離が加算されます。

スペーシング（間隔）が、この2つの条件を満たしているか、常に目で見えてチェックするべきである。

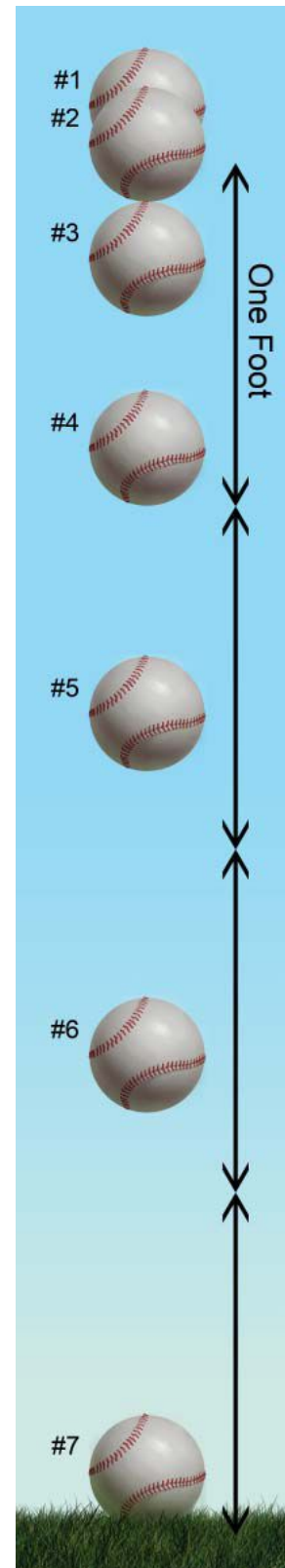
3つ目の要素は次のとおりです。

- ・ #2以降に全てに加算される距離は、#1～#2の移動距離を倍にした数と同じです。

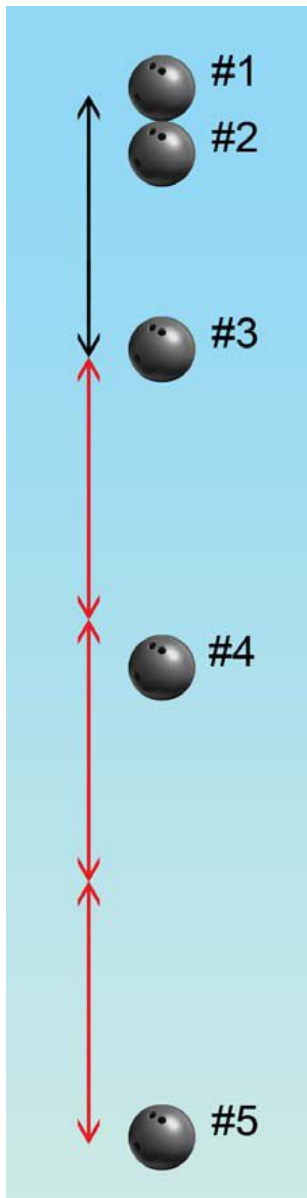
バスケットボールの様な大き目の物体の場合、3つ目の条件を当てはめるには#1と#2のボールは近くなりすぎてしまう。



ボールが落下するリアルなアニメーションを作成後、ディレクターや先生にタイミングや間隔についてアレンジされる可能性がある。それがアニメーターとしての人生というものだ。しかし、基になる物理的にリアルな動きをつけた努力は無駄にならないだろう。



フォース・ダウン・アット・ハーフタイム



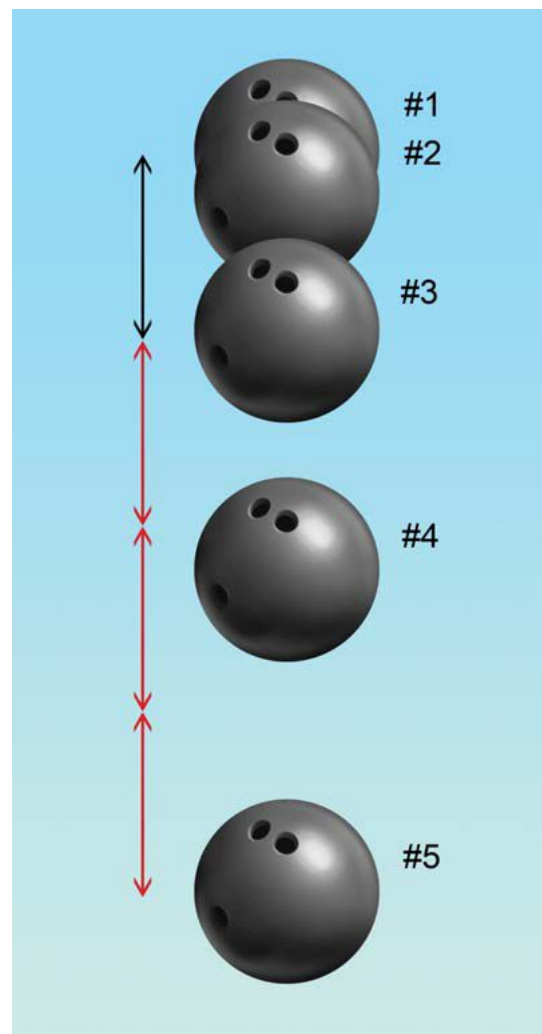
Fourth Down at Half Time のルールはストレートアヘッド技法でスペーシング（間隔）をチェックする時とポーズトゥポーズで中割を作成する場合に役立つルールである。

ルールは、以下の例から理解するのが最も簡単である。

- ・キー #3 までの時間は #1～#5 までの半分となる。
- ・キー #3 は #1～#5 の距離の $1/4$ の場所となる。

ルールの使い方：#1 より下にある任意のキー（原画）にボトム・キーと名づけ、apex（頂点）とボトムキーの距離を落下する時間の半分のところをハーフ・タイムキーと呼ぶ。

もしスペーシングが正しければ、ハーフタイムキーは apex（頂点）からボトムキーに向かって $1/4$ の位置にあるはずである。



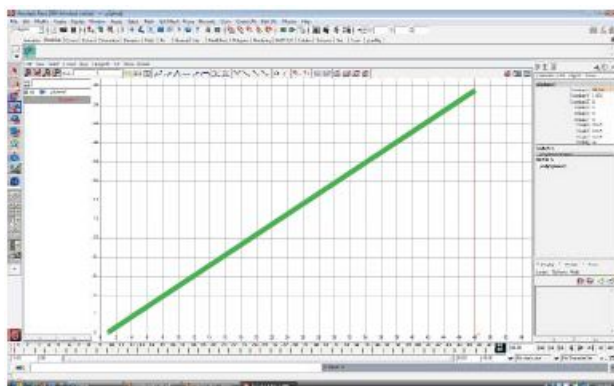
モーション・グラフ

CGアニメーションにおいてはタイミングと動きのスペーシングはモーション・グラフで確認できる。グラフ・エディターで操作する。

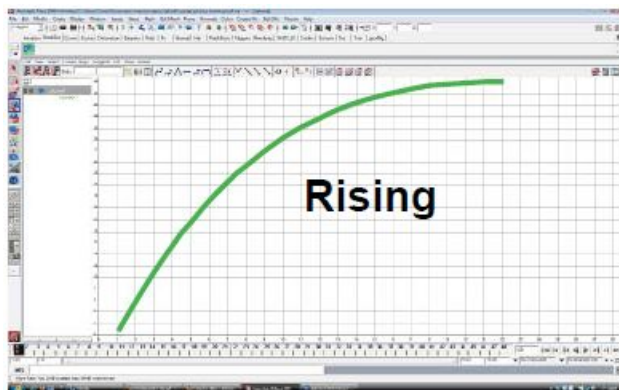
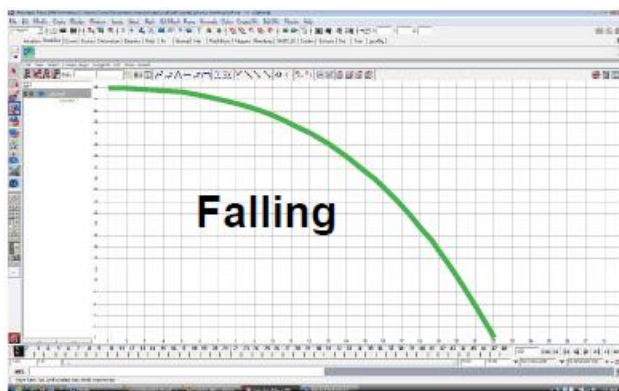
下のグラフはMAYAのモーショングラフで縦がポジションで横がフレーム・ナンバーである。



一定運動の場合グラフの線は真っ直ぐである。高速の場合は急勾配のカーブになる。もし物体が全く動いてない場合モーション・カーブは角度のないフラットな線のはずである。

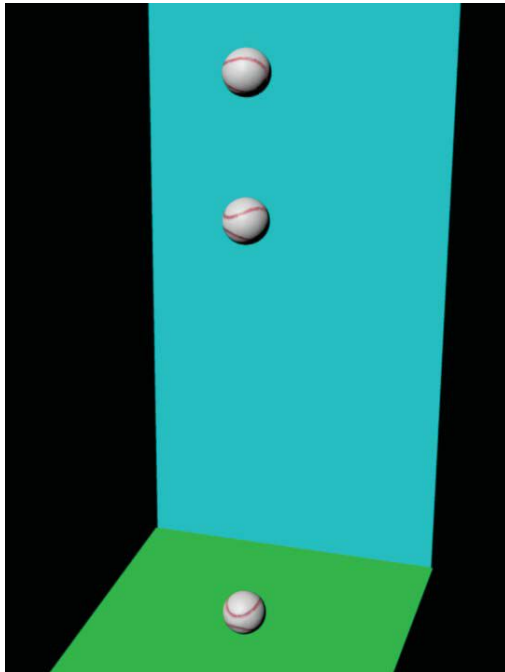


落下運動におけるグラフのカーブは放物線を描く。上昇運動も同じように方物線を描くが、それは単純に逆のパターンである。一般的にスローイン、スローアウトを含む一定運動はグラフにおいて方物線となる。



関連：これらのモーショングラフの放物線は部屋の端から端へ投げたボールの軌道と同じであり、偶然ではない。その関係性は「Physics of Paths of Action tutorial」で説明する。

Fourth Down at Half-Time を使う



これはポーズトゥポーズ技法における“Fourth Down at Half-Time”の応用例である。

1 フレームと 13 フレーム (apex とボトムキー) にキーを打つ。(9 ページ参照) apex (頂点) の位置が地面から 4 フィート (約 122cm) です。で、ハーフタイムのキー (フレーム 7) で、ボールは apex (頂点) から 1 フィート (1/4) の所になる。地面から 36 インチ (約 91.5cm) の所である。MAYA においてこの 1 フレ、7 フレ、13 フレが描くカーブは下に示すようなモーショングラフになる。

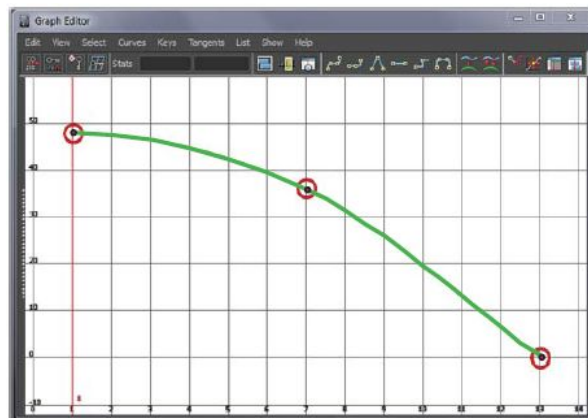
結果として得られる運動は、リアルである。



モーショングラフのカーブの apex (頂点) のハンドルはフラットにする必要がある。



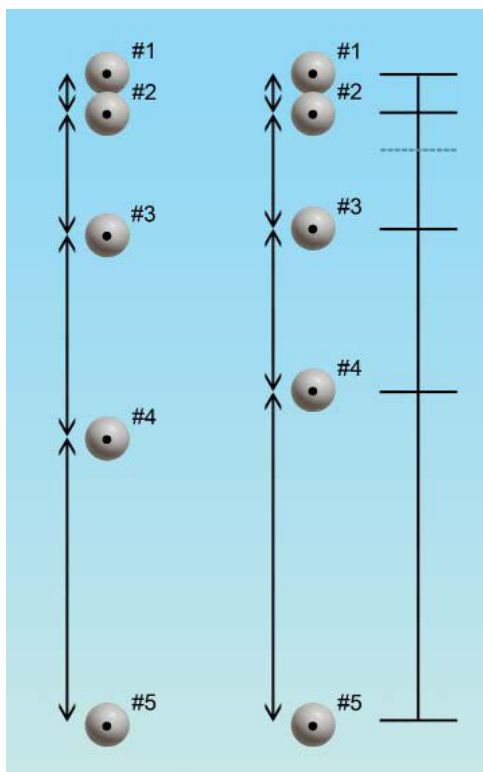
待って：さて落下する物体のアニメーションを勉強しましたが、先に進む前に実際にそのアニメーションを作ってみよう。
この後、このチュートリアルでは物体の移動速度の増加法則など、様々なトピックで進んでいく。
この後も読んであなたのアニメーションをより良いものにしてほしい。



この例では、私達は数学的に計算してハーフタイムの位置を割り出した。しかし、あなた達は見た目で頂点から下 1/4 の場所を見積もればよい。

チャイスไตล์の落下

デイク・チャイは”ポーズトゥポーズ”技法に使用し、
やすいスローアウト時の目安の付け方を思いついた。



チャイスไตล์のレシピ

- ・ 始めと終わりの絵を描く。（#1と#5）
- ・ 始めと終わりの真ん中の絵を描く。（#4）
- ・ 上半分の真ん中に絵を描く。（#3）
- ・ 上半分の1/4の真ん中の位置を認識する。
- ・ 上の認識した位置と#1の真ん中に絵を描く（#2）

左の図のように最初と最後のキーは#1と#5である。
上のレシピにあるように、その2つを描く、その2つの
真ん中に絵を描き、これが#4になる。上半分の真ん中
に絵を描き、これが#3になる。

上1/4（#1と#3）の真ん中の位置を認識する（認
識するだけで描かない）。最後にその認識した位置と
頂点の真ん中の位置に絵を描きこれが#2になる。
このレシピは、完璧に正しいスペーシングではないが、
実際に#4は少しだけ高すぎるということに気付かれ
ることはほとんどない。

最後に”チャイスไตล์の落下”は、より簡単
に”Fourth Down at Half Time”（15ページ参
照）の中割の位置を割り出すことができる方法である
ことに気付く。（特に#2と#4）



デビッドチャイは受賞歴のある自主制作アニメーション
監督である。サンノゼ州立大学のアニメーションの教
授であり、イケメンだ。

加速度運動のインビトウィーン

“スローイン”または“スローアウト”のとき、中割のスペーシング（間隔）は等間隔ではない。それどころか、中割の間隔は apex からシフトしている。

右の図の2コマ撮りの図（右側）は、1コマ撮りをするための中割り方法を示したものである。

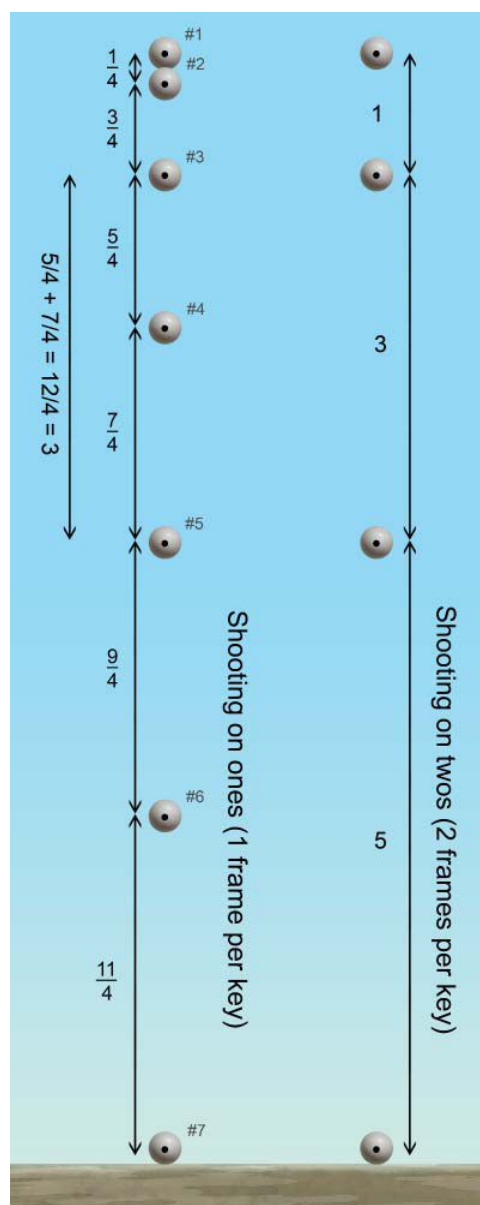
1コマ撮りの中割を描くには、最初に（2コマ撮りの図の「1」の）間隔を4分割し、以降1:3:5:7の比率で描いていく。

#2（左側の図）が apex（頂点）にかなり近いことに注目してほしい。一方、残りの間隔は（#1～#3の）半分より少し上までである。

終わりに“Fourth Down at Half Time”のルールに従ってスペーシングを実証してみよう。



注意：このような小さな物体が長いスペーシング（間隔）をもって落下するアニメーションは、ストロボ効果であまり見た目には良くない。



Q：どの位高さからこのボールが落ちてくる？ボールの大きさは？

A：1コマ撮りで頂点から6コマ（フレーム）分落下するので高さは1 Foot（約30.48cm）。ボールのサイズは直径約1インチ（約2.54cm）の1/3なので、小さなビー玉くらいかもしれない。

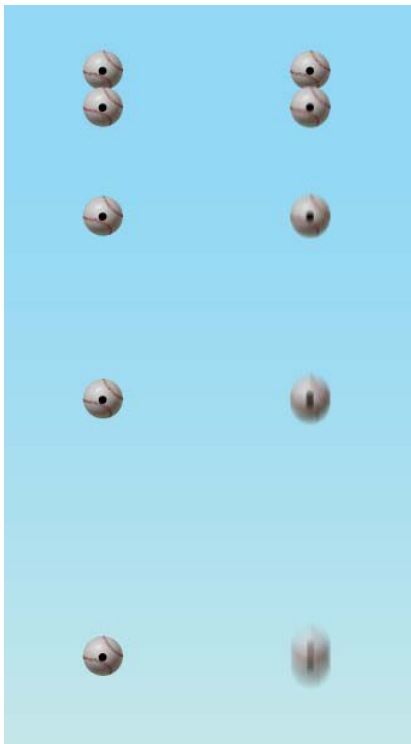
加速” ストレッチ”

物体が物理的に伸びたりしないにもかかわらず、
あなたたちは身体ががけから落ちるときに伸びたり
するキャラクターをたくさんアニメで見てるは
ずだ。

物体は、動作の速度が増した時にモーションブラー
により伸びたように見える。

モーションブラーの効果は、物体の素材で変わる
ことはない、硬い物（ボーリングのボールなど）
よりも、やわらかいもの（水ヨーヨーなど）の方
がより自然に伸びたように見える。

落下する物体はモーションブラーによって垂直方
向に伸びたように見える。しかしアニメーション
では上下に物体が伸びただけでは物体の容積が変
わってしまったようにも見える。従ってアニメー
ションにおいては、そのような場合上下に伸びた
分、横（左右）を縮めて容積の一致を保てるよう
にする。



ストロボ効果&ストレッチ



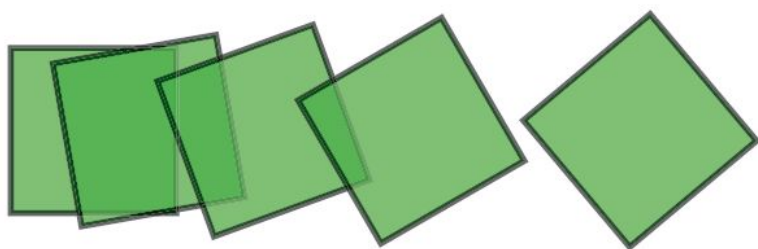
ストロボ効果は目障りな視覚効果である。

それは、原画と原画の距離が広く離れている場合に発生するアクションが途切れ途切れに表示され動きが解り難い。

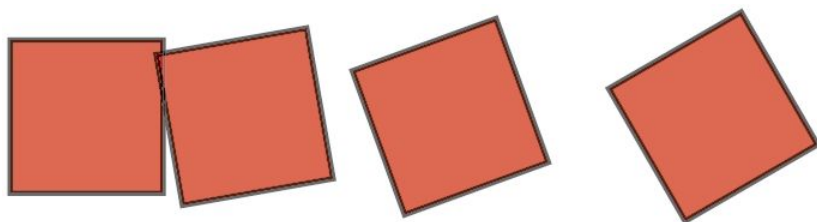
動きがスローな場合は、物体がオーバーラップして見えるので滑らかな動きとして認識しやすい。

動きが速過ぎるな場合は動きを正しく認識できないことがあります。なぜなら、物体がある場所で消えてその後、他の場所で再び現れたように見えるからである。

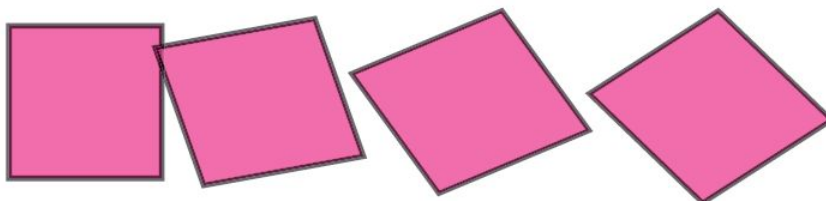
注：知覚によって認識される動きは、時々残像と混同することがある。オブジェクトが消えると、脳の錯覚で一瞬オブジェクトの"残像"が見える。これは視覚効果ではなくアニメーションによって引き起こされるものである。



この動きはゆっくりで、絵の動きの流れが見てとれる。



この動きは速く、絵と絵の間隔が広すぎて、動きの流れが解り難い。



ストレッチを使用すると同じ速度でも間隔の広さによるギャップを軽減することができる。