# オプティカルフロー

## はじめに

オプティカルフローとは移動する物体を画像の中から特定する簡便な手法である．筆者は初学（2023 より数十年前）にて手こずった経験がある．一見，簡単な説明でも，実際にプログラミングとなると，自分の理解がいかにいい加減なものか，手ひどく思い知らされることがある．逆に言えば，プログラミングの素晴らしい点は、そういった曖昧さ，理解の脆弱さを暴いてくれる処にある．一度理解に至れば，オプティカルフローはさほどのものはないが，本稿では筆者の苦い経験を元に説明する．

## 接平面

接平面とは**図 1** である．

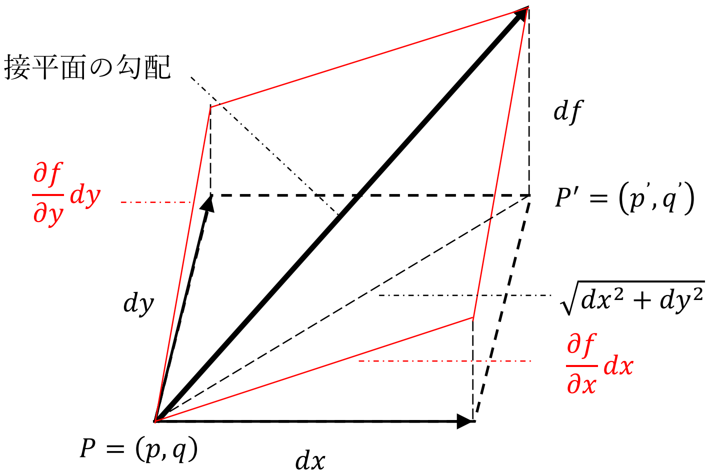



**図 1　接平面**

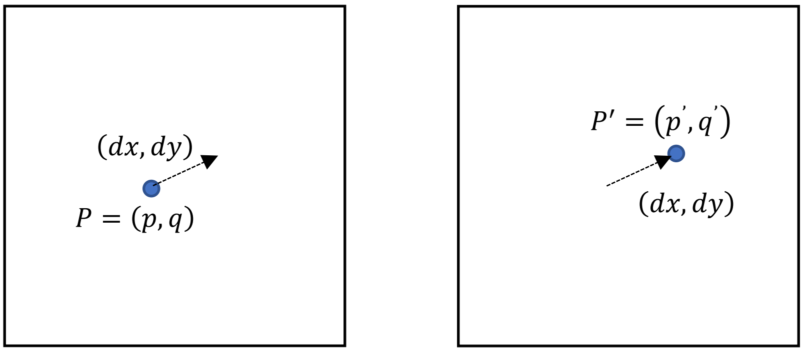
接平面の数式は(1)である．

$$df = \frac{\partial f(p,q)}{\partial x}dx + \frac{\partial f(p,q)}{\partial y}dy \quad (1)$$

この**幾何イメージが重要**である．

## オプティカルフロー

接平面の**幾何イメージ**を述べると，点$P$から$(dx, dy)$だけ離れた**点$P'$での$df$は(1)で表せる**ことである．もちろん，現実にこの等式が成り立つわけではなく，あくまでも2つの点が近傍にあるという前提での近似にすぎない．ここで移動前の画像を$f(x, y)$，移動後の画像を$f'(x, y)$とする．次にオプティカルフローの解として求めたいのは移動量$(dx, dy)$である(**図2**)．




移動前$f(x, y)$　　移動後$f'(x, y)$

**図2　物体の移動**

さて，(1)の右辺で数値微分をとる場所は$f$と$f'$のいずれ，さらには$P$と$P'$のいずれであろうか？これが，筆者が過去につまずいた点である．

$$\frac{\partial f}{\partial x} = ?, \frac{\partial f}{\partial y} = ?$$

先に解を述べると，これは$f'$の$P'$でなければならない．$P'$は移動前の$P$そのものであり，$P$での勾配に移動量$(dx, dy)$を乗ずることで$P'$での$df$を推定するからである．従って(2)となる．

$$df = \frac{\partial f'(p', q')}{\partial x} dx + \frac{\partial f'(p', q')}{\partial y} dy \quad (2)$$

次に(1)の左辺である．$df$の頂点は$f(p', q')$であり．底点は移動前の$P$点の輝度，すなわち，$f'(p', q')$である(3)．

$$df = f(p', q') - f'(p', q') \quad (3)$$

ここで注意したいのは，$P$点の情報は何も使われていない点である．およそ移動後の情報から移動前の位置を推定するのである．移動前の画像で唯一使われる情報は$f(p', q')$である．

一般にみられる説明では$df$が(4)で表記されるため，混乱を招くのではないかと思う．

$$-df = \frac{\partial f'(p',q')}{\partial x}dx + \frac{\partial f'(p',q')}{\partial y}dy \quad (4)$$

この表記では得られる解$(dx,dy)$の符号が反転しているが，(3)で時間軸を基準とすれば(5)となる．

$$-df = -\left(f'(p',q') - f(p',q')\right) \quad (5)$$

ただし，軸の捉え方次第ということはある．例えば，$(dx,dy)$が移動後の座標から移動前の座標を推定するベクトルと考えてもよい．もう一点，以上の考え方のまま，$P'$から$P$に移動した数式も考えることもできる．いずれにせよ，幾何イメージに合致していることが要点である．

最後に$P'$の一点のみでは 2 つの未知数$(dx,dy)$を特定することはできない．$P'$の周辺の複数の点でも同じように物体が移動しているという前提の下，最小 2 乗解により未知数を特定することができる．もちろん，先に述べた$P' \rightarrow P$の逆の移動により情報を増やすということでもよい．

## コメント

オプティカルフローのメリットは計算コストである．簡単な計算で移動体の領域を特定できる点が最大のメリットである．デメリットとしては大きな移動には対応できない(画像ピラミッドによる対応策はある)，移動量の推定精度は低い，ということがある．