The Dynamics of Avalanches

Jim McElwaine

Department of
Earth Sciences
Durham University

Plan of Talk

- Types of Avalanche
- Avalanche Initiation
- Avalanche Defences
- Avalanche Flow
  - Theory
  - Observations
  - Experiments
  - Simulations
- Avalanche Deposition

Manda III, 6529m

NW Face Manda III

Powder Avalanche on K2

Pierre Beghin, film

Head of Powder Snow Avalanche

Cemagref

Slab Avalanche Fracture Line, film

Skier in Slab Avalanche Debris

Cemagref

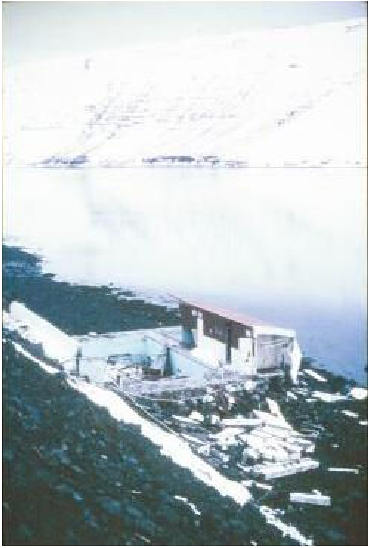
Patreksfjörður 1983, a Slush Flow Killed 3 People

Destroyed House at Saint Colomban Les Villars, film

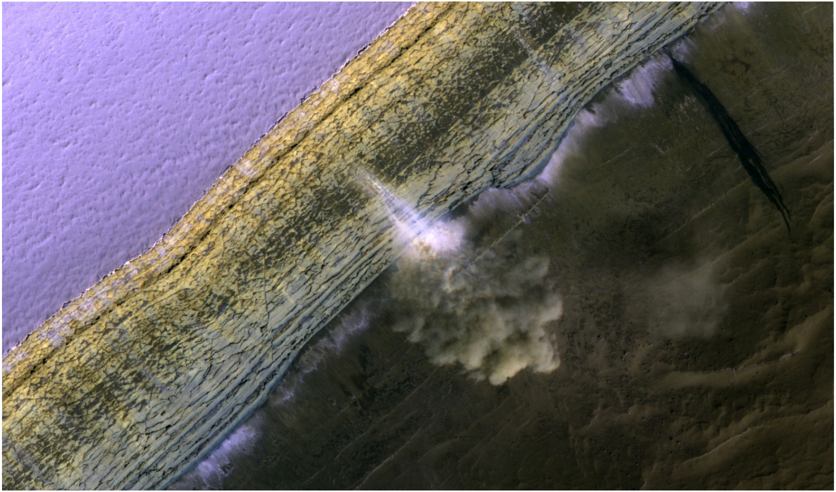
Destroyed Buildings at La Morte

Cemagref

Damage by a flood wave at Súgandafjörður



CO_2 Avalanche on Mars HiRISE



Current Avalanche Research

- Huge variety:
  - speeds 25–250 $\mathrm{km/h}$
  - densities 5–500 $\mathrm{kg/m^3}$
  - masses 10^2–10^9 kg
- Three dimensional terrain and structure
- Snow properties are complicated and ill-defined
- Unpredictable, destructive, unreproducible
- Current theories are phenomenological
- Genesis of powder snow avalanches not understood

タイムス　平成１０年（1998年）１月２９日（木曜日）

雪崩に巻き込まれ女性死亡

１人軽症、２人無事

ニセコの立入禁止区域で

【倶知安】二十八日午後零時半ごろ、後志管内倶知安町山田のニセコ国際ひらふスキー場西側コース外・ニセコアンヌプリ（標高一三〇九㍍）中腹の通称・春の滝で雪崩が発生、同滝の下部で雪山縦走中の男性ガイド二人と女性客二人の計四人が巻き込まれた。男性一人は自力で脱出、近くにいたスノーボーダーに救助を求め、約一時間半後に三人を救出したが、女性一人が搬送された病院で死亡、もう一人の女性が軽症。男性二人にけがはなかった。発生場所は、立入禁止の危険区域だった。

倶知安署の調べでは、死亡したのは奈良県斑鳩町竜田西、ペンション臨時従業員城野裕子さん（[illegible]）。軽症は和歌山県白浜町十九渕、ホテル臨時従業員岡崎仁美さん（[illegible]）。

二人はガイド役の倶知安町樺山五四、スノーボードショップ従業員石川太さん（[illegible]）、同町南九西一、同渡辺尚幸さん（[illegible]）とともに、同日午前十時ごろ、同スキー場アルペンコースのD線リフト降り口付近から、スノーシューと呼ばれるかんじきを履いて出発。同滝を見学したあと、休憩中に、滝の上部で発生した表層雪崩に巻き込まれた。

女性二人は道警のヘリコプターで札幌医大病院に運ばれたが、城野さんは午後八時すぎに死亡した。女性二人は冬期間だけ、アルバイトで同町を訪れていた。

ニセコ山系の雪崩に詳しく、救助活動にも加わったニセコ雪崩ミーティング代表、新谷暁生さんによると、雪崩は幅四十㍍、長さ三百㍍の規模で発生。四人は雪崩の下部で巻き込まれ、十㍍ほど流されたらしい。石川さんを除く三人は一・五㍍ほどの雪に埋まっていたという。同滝の沢は狭く、雪崩が発生した場所は五〇度ほどの急斜面に五十―六十㌢の新雪が積もり、表層雪崩の危険があったという。

同署によると、出発時は晴天で、風もなかったが、発生時は吹雪もようだった。

スノーシューの雪中ツアーは、石川さんらの店の企画商品。春の滝コースは二つのうちの一つで、同滝は城野さんらが希望したという。石川さん、渡辺さんとも同滝をよく知っていたが、客を案内したのは初めて。

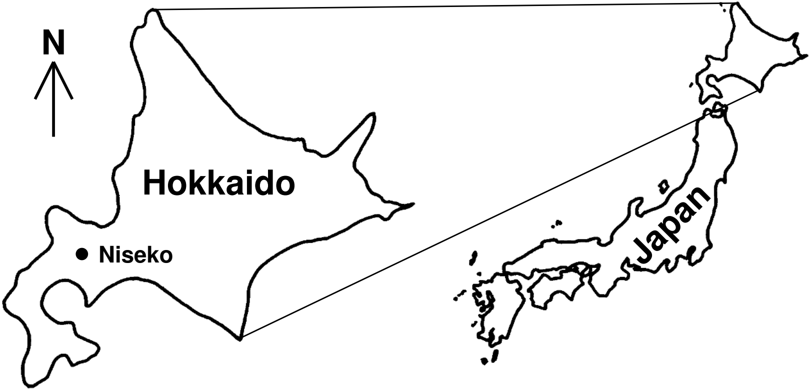
石川さんは「雪崩の危険性は知っていたが、まさかこの時期に」と話していたという。

現場一帯は、ニセコスキー場安全利用対策連絡協議会などが雪崩の恐れがある危険区域として、宿泊施設など関係者に周知しており、スキーヤーやスノーボーダーに立ち入らないよう呼び掛けていた。

同署は、ツアーに過失がなかったか、関係者から事情を聴く。

雪崩現場から毛布などにくるまれて救急車に運び込まれる渡辺尚幸さん（中央）＝28日午後３時38分、後志管内倶知安町山田、ニセコ国際ひらふスキー場

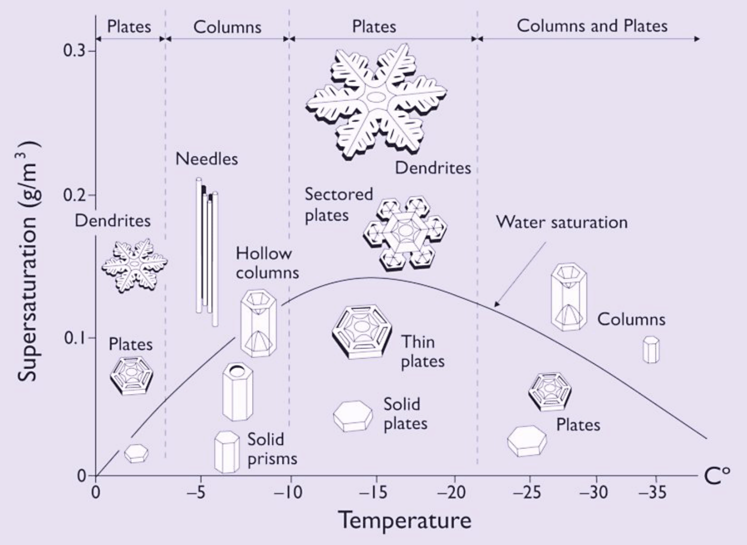
Location of Niseko in Japan (N 42' 52" E 140' 42")



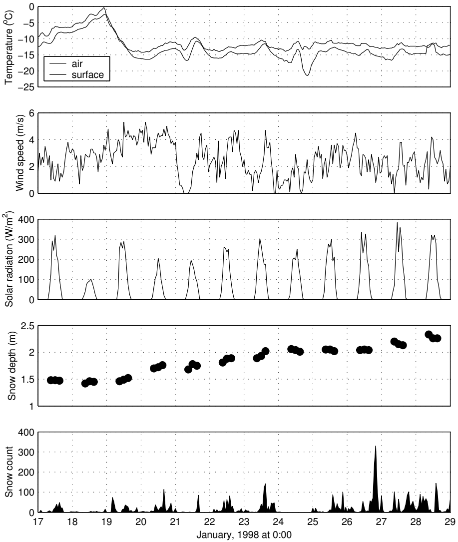
Haru no Taki

Accident Site

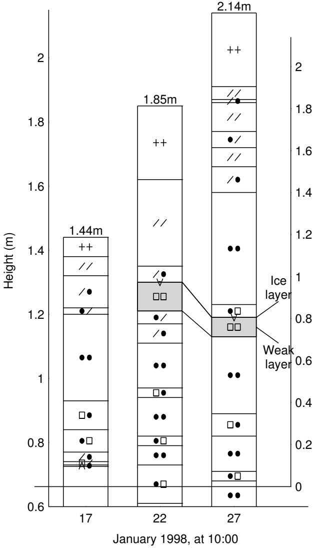
Snow Morphology



Meteorological Data 17th to 29th January, 1998

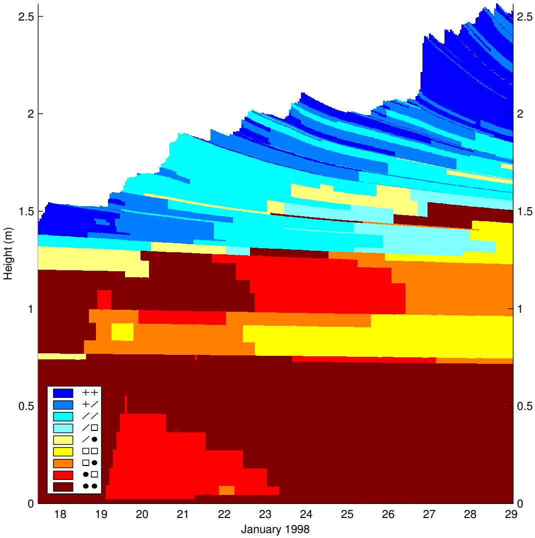


Snow Pit Profiles

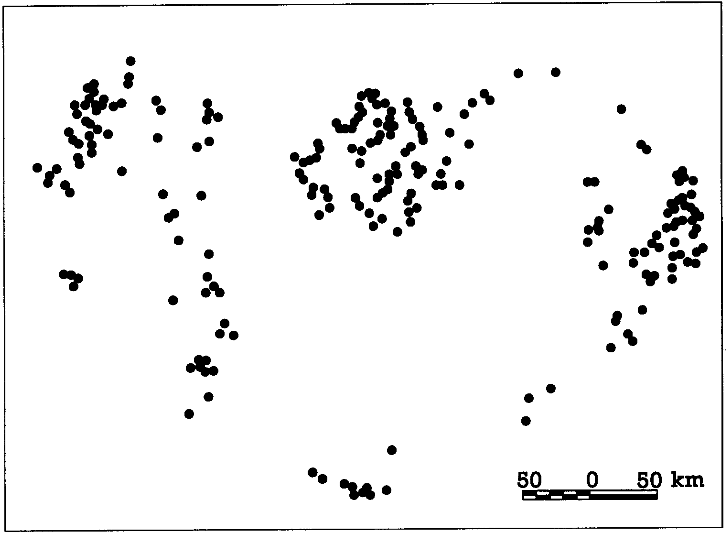


Photos: Dr. Libbrecht

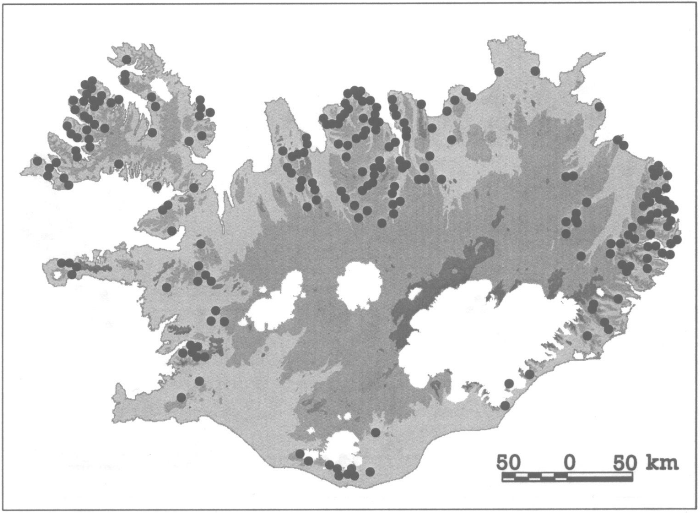
Simulated Profile



What is This ?



Avalanche Accidents in Iceland



Icelandic Coast

Flateyri in Summer

Flateyri Avalanche 1999

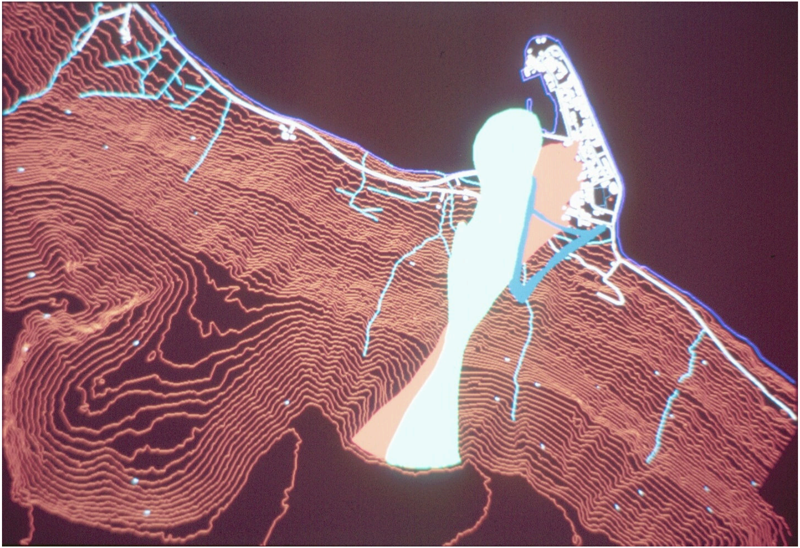
Large Scale Defence Structures

Defence Structures in the Starting Zone

Church in Davos

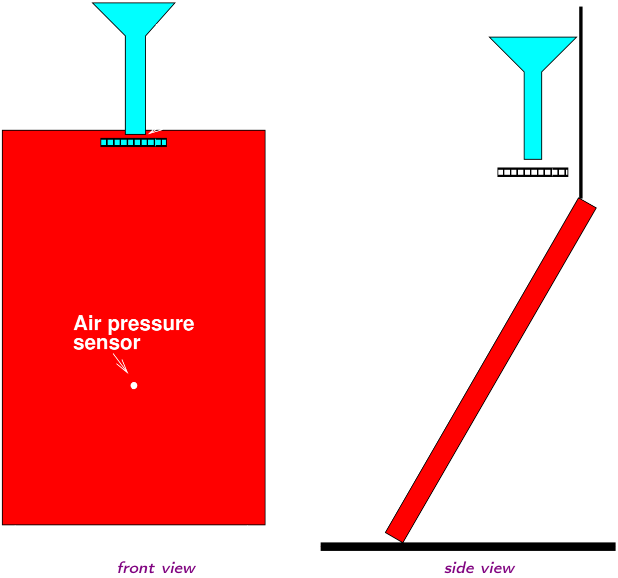
Flateyri Deflecting Dam, $5.5m

Flateyri Simulations With and Without Deflecting Dam

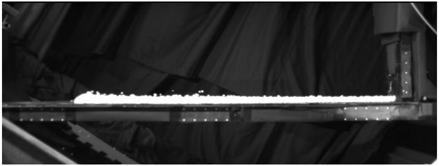


Test Chute in Davos film

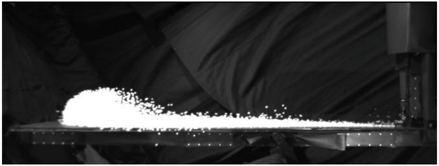
Laboratory Experiments



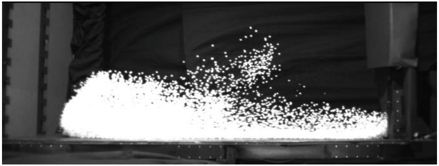
Side View 8 Litre Avalanches



31.5^{o} slope



58.5^{o} slope

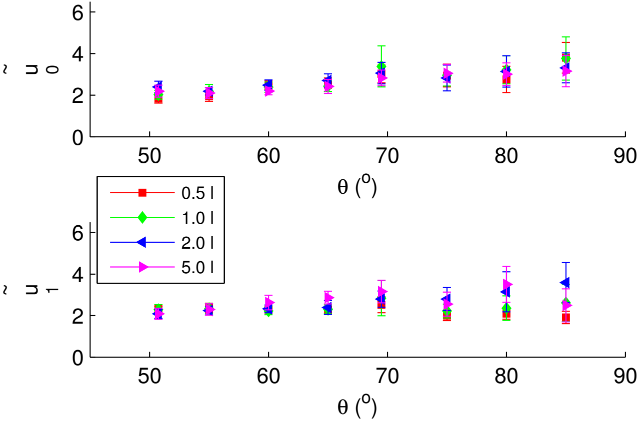


91.0^{o} slope

$100\,\mathrm{ml}$ side

$8000\,\mathrm{ml}$ side

Non-Dimensional Velocity — $\tilde{u} = \frac{u}{V^{\frac{1}{6}} g^{\frac{1}{2}}}$

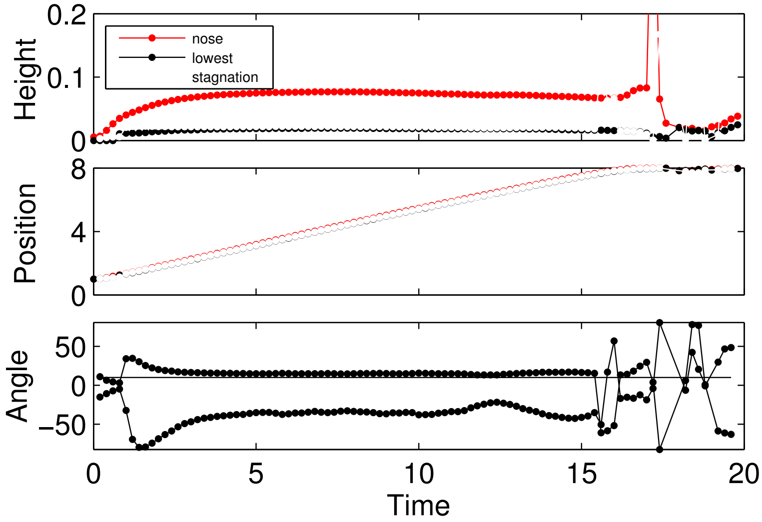


Direct Numerical Simulations

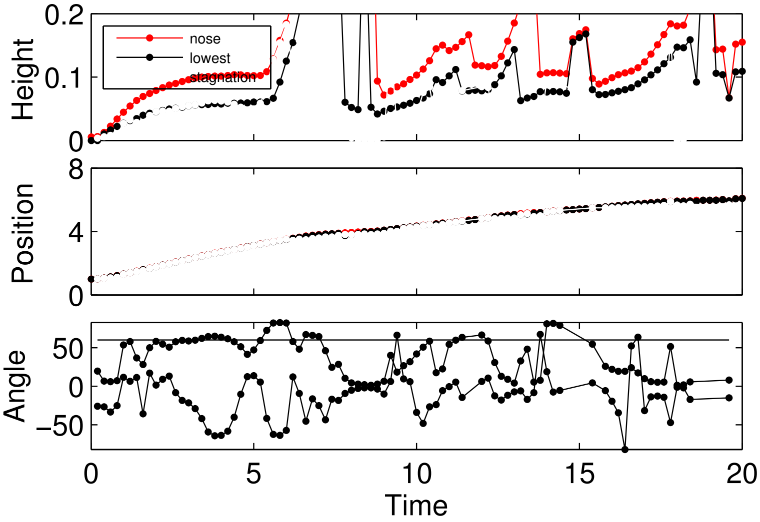
- 2d spectral with compact finite differences
  Meiburg Code
- Simulation region 8×1
- Release area 2×0.5
- Slope angles 0–90°
- Boussinesq and non-Boussinesq

Test hypothesis:
stagnation point is lowest point as Re$\to\infty$

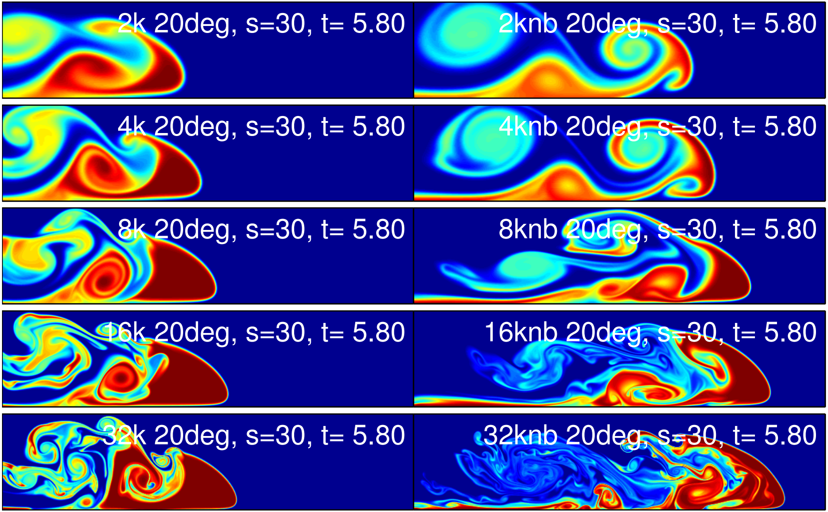
Time evolution, Re=32,000, Slope=10° 3d front



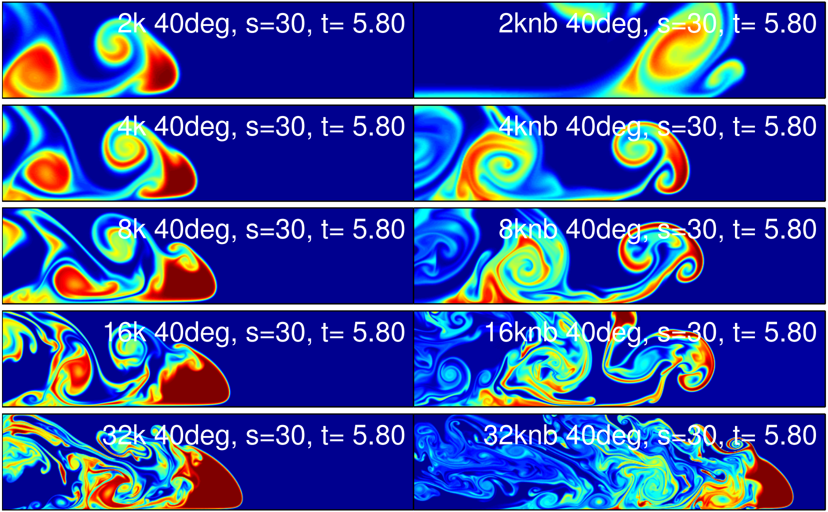
Time evolution, Re=32,000, Slope=60° film front



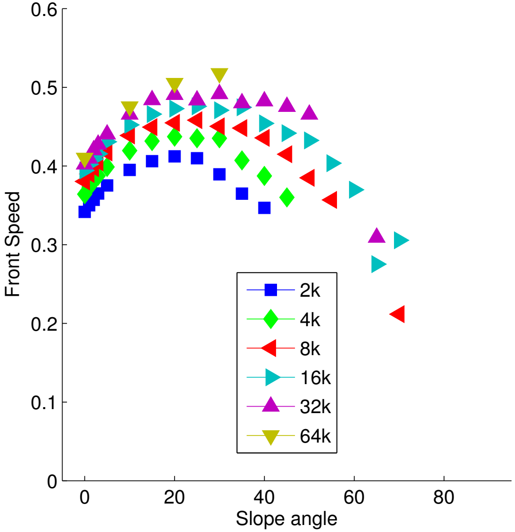
Re Comparison at slope 20°



Re Comparison at slope 40°



Front Speed

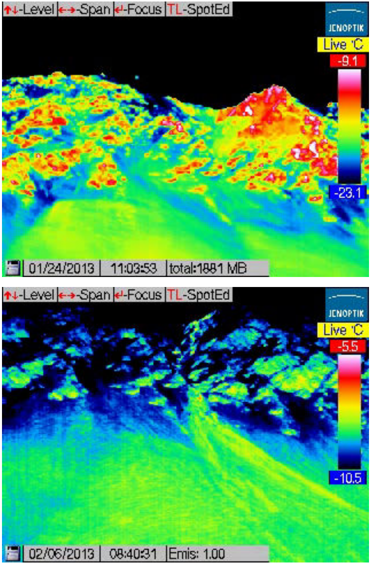


Front Speed
Slope angle
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
20
40
60
80
2k
4k
8k
16k
32k
64k

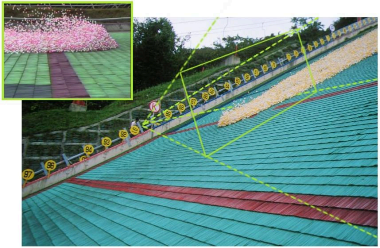
Vallée de la Sionne Test Site

- Artificial and Natural Releases
- $1\,000$–$1\,000\,000\,\mathrm{kg}$
- 10–$100\,\mathrm{m\,s^{-1}}$
- Instrumentation
  - Video
  - Laser Scanning
  - Impact & air pressure
  - Dopper & FMCW Radar
  - Density
  - Velocity profiles

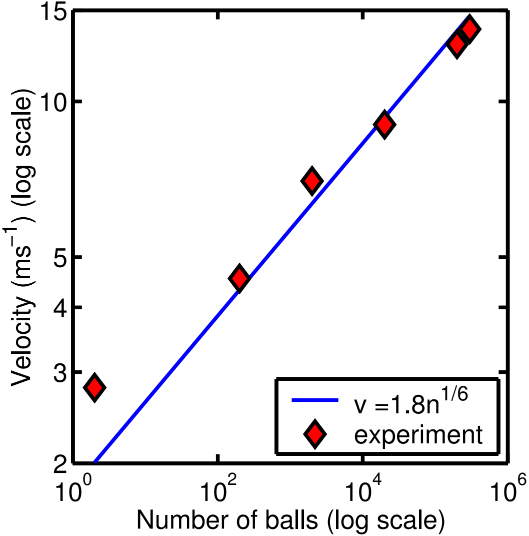
Mast and Thermal Imaging



Ping-Pong Ball Avalanches



Front Velocities at the K-Point



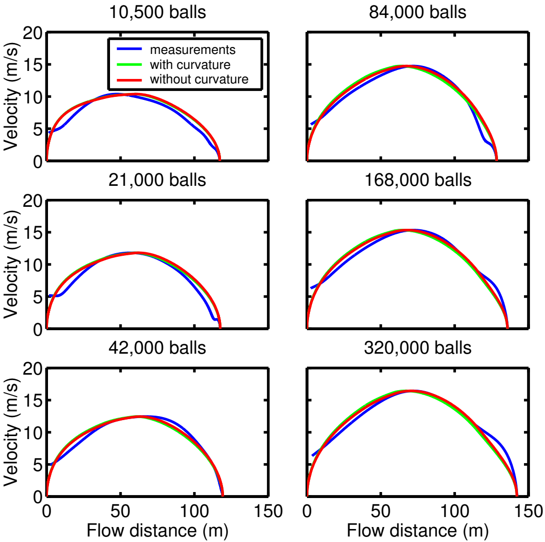
A One Equation Model

Constant length scale L
Conservation of linear momentum

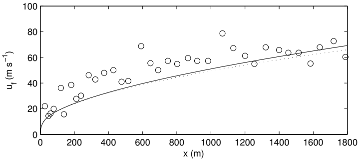
$$\frac{dv}{dt} = g \sin\theta - g\mu\cos\theta + \mu\kappa v^2 - \frac{v^2}{L}$$

where m is mass
v - speed
s - distance
θ - slope angle
g - densimetric gravity
$\kappa = d\theta/ds$ - curvature
μ - friction
L - drag length

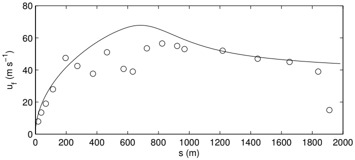
Comparison with Model



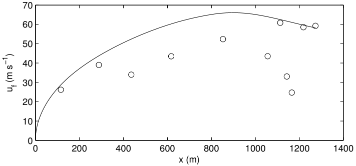
Comparison with Velocity Data From VdlS



Avalanche no. 200



Avalanche no. 509



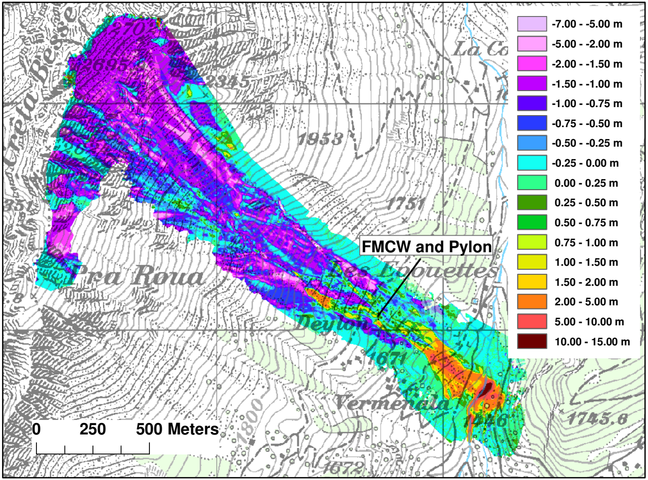
Avalanche no. 628

Deposition

Riegl LMS-Q240i laser scanner

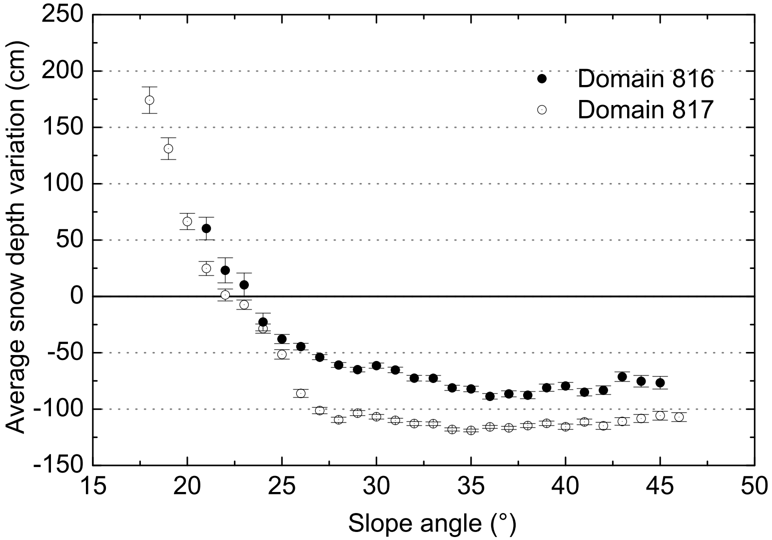
- time of flight principle
- 10 000 points per second
- horizontal resolution 500 mm
- vertical resolution 100 mm
- high density of points
- inertial measurement
- GPS

Snow depths variations h_δ

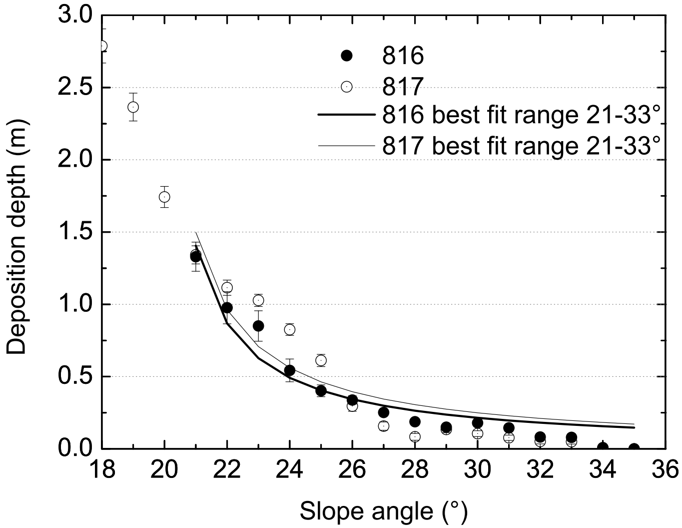


Bunker Rescue

Average snow depth variation $\overline{h}_\delta$



Deposit depth $\rho g d \sin\theta = c + \mu\rho g d \cos\theta$



Conclusions

- Simple theories can be very effective for flow and deposition
- Avalanche initiation is very complicated
- Synergy between Simulations, experiments and field observations
- Advances in instrumentation can really test models quantitatively

Acknowledgments

THE ROYAL SOCIETY

VEÐURSTOFA ÍSLANDS

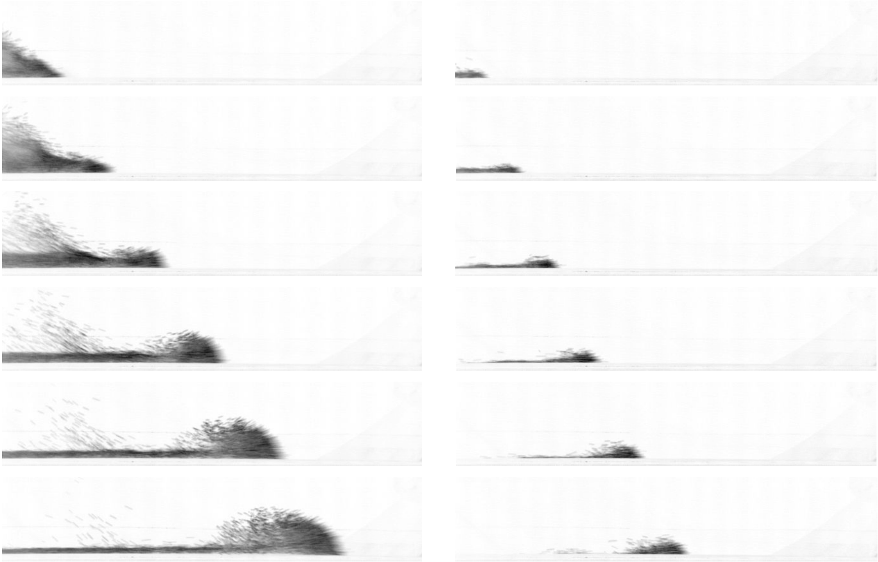
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE
NGI

EPSRC
Engineering and Physical Sciences Research Council

Betty Sovilla
Barbara Turnbull
Kouichi Nishimura
Christophe Ancey
Dieter Issler
Takahiro Ogura
Eckart Meiburg
Shane Byrne
Nathalie Vriend

Thanks !

Chute Experiments



Eyes