

北極海航路の持続的利用実現に向けて

海水減退期の航行における リスク評価

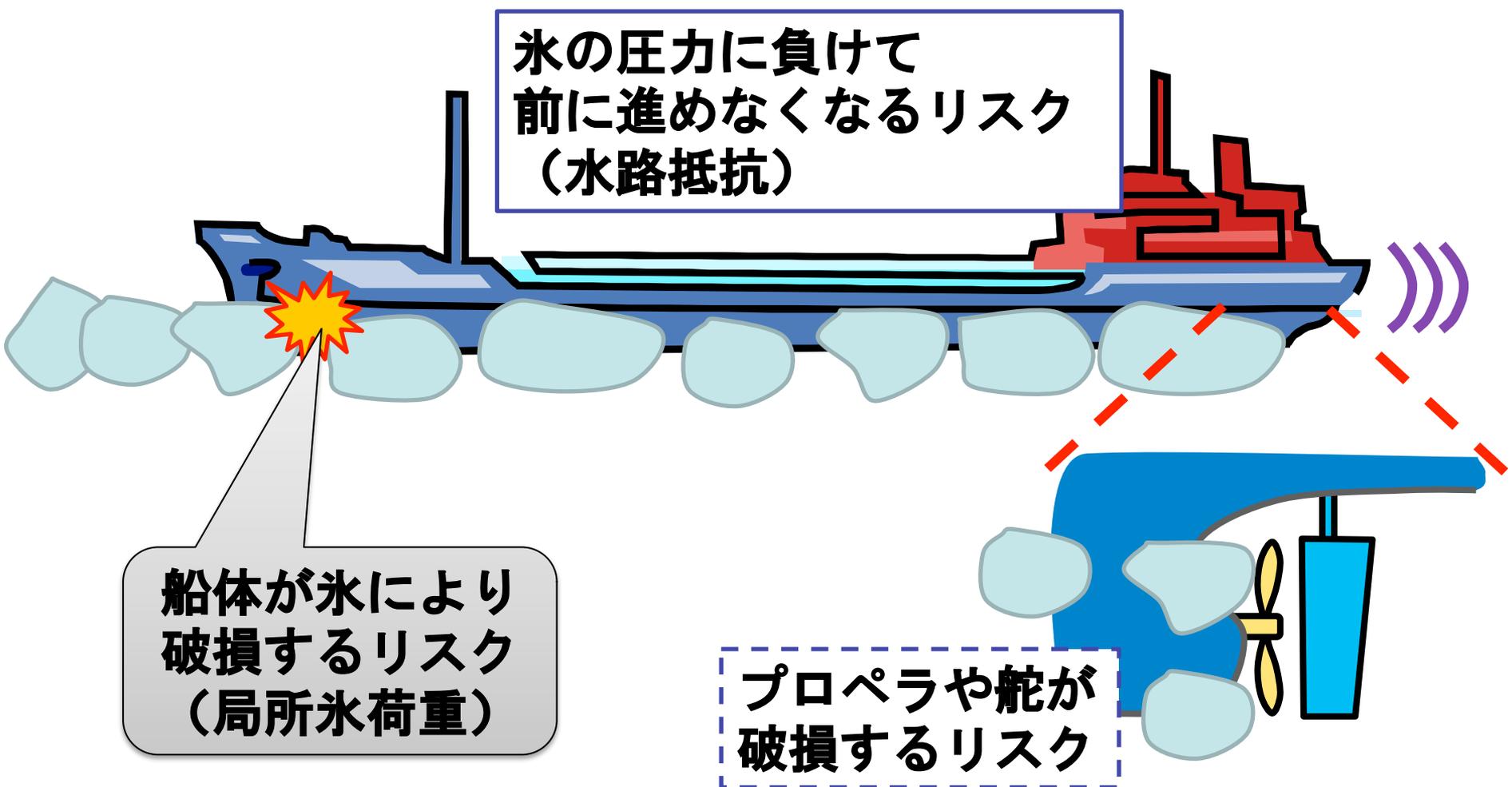
金野祥久(工学院大学)

GRENE北極気候変動研究事業

第2回特別セミナー

2015/11/6

NSR航行で考慮すべきリスク

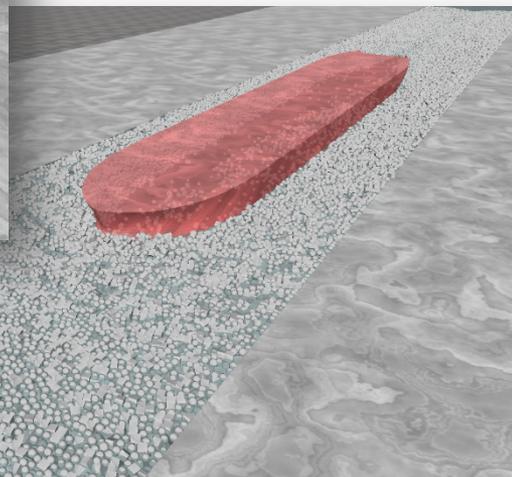
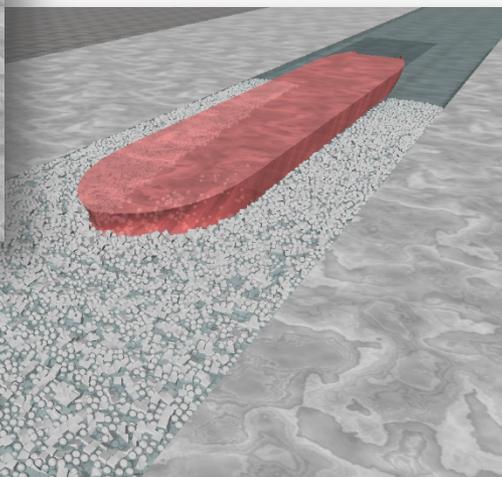
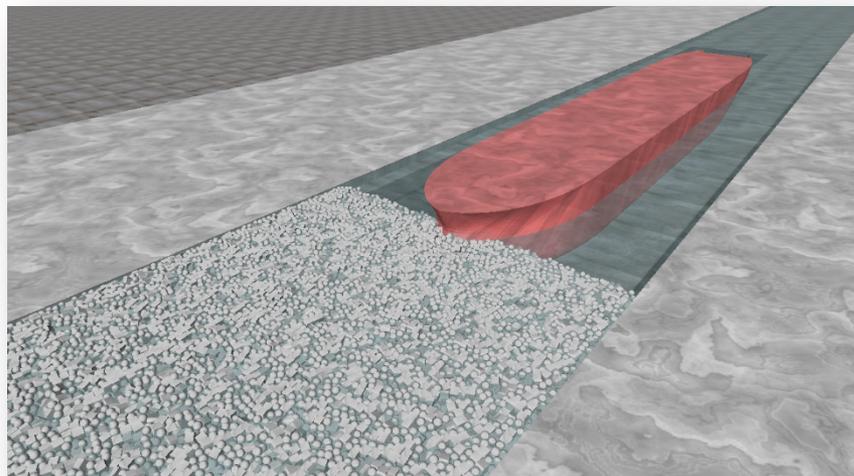


氷の圧力に負けて
前に進めなくなるリスク
(水路抵抗)

船体が氷により
破損するリスク
(局所氷荷重)

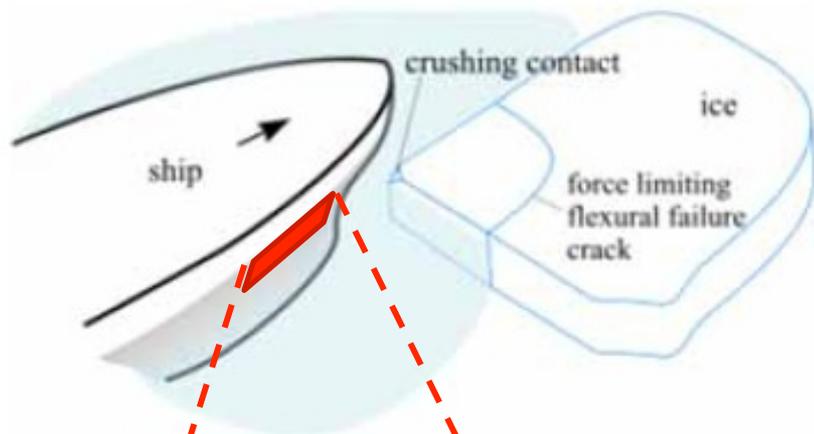
プロペラや舵が
破損するリスク

氷片密集水路航行の解析

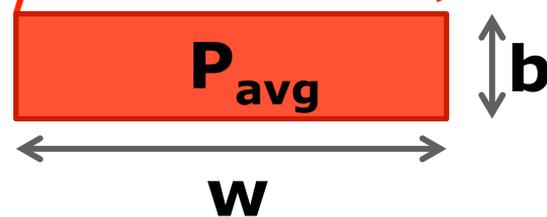


※本日の発表は、氷が少ない状況を対象としています。

Polar Class 想定シナリオ： Glancing Impact



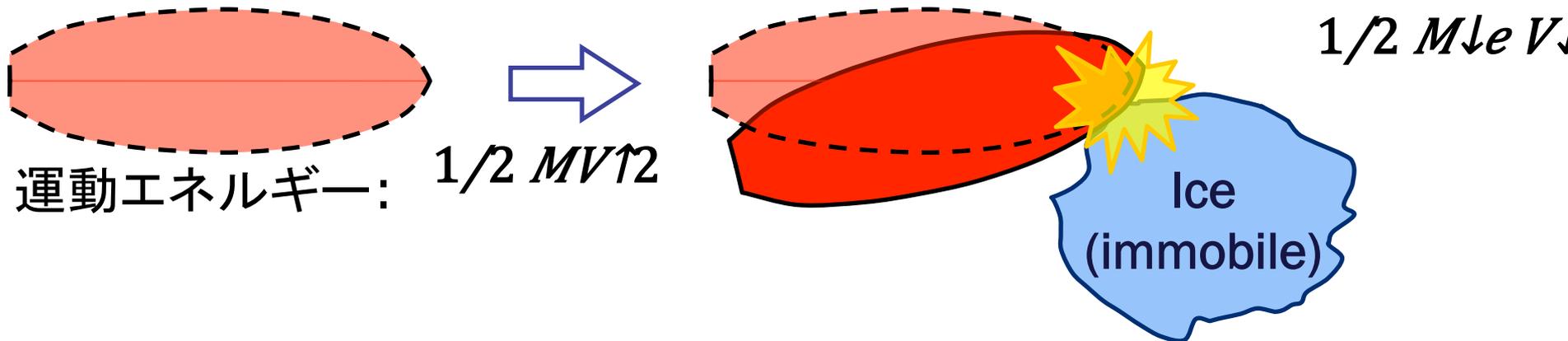
Yu, SNAME UK COLLEGIUM, 2012



- ある区間 ($w \times b$) に圧力 P_{avg} が一様に加わる。
- w, b, P_{avg} の具体的な値は
 - 船首部：船首形状とクラスによって決まる。
 - 船首以外：船体形状とは関係なく、クラスで決まる。

Glancing Impactの考え方の背景

衝突時に消費されるエネルギー：有効運動エネルギー



- IACS URI (Polar Class)の基礎となっている考え方 (Popov et al, 1967)
- 衝突前に船が持っていた運動エネルギーの一部が、衝突時に消費される。このエネルギー消費から氷荷重を求める。
- M_e : 有効質量; $M_e = M_{\text{ship}} / (\text{mass reduction factor})$
- 氷の質量と運動は考慮されない。(良いのか?)

海水減退期に考慮すべきリスクは？

将来は、

- 北極海の氷が減少 → 航行速度が増加？
- しかし、航路中の多年氷や、氷河から脱落した氷山は、むしろ増加する。



単独氷片との衝突リスクを検討する必要性？



Perino Moreno Glacier (Photo by Calyponte)

本研究の目的

- 海氷減退期において、ほぼ氷がない航路を船が航行する。
- しかし冰山や冰山片（bergy bit）は航路上に存在する。一部はレーダーでは発見しづらい。
- このような状況で衝突時の氷荷重を求める方法を提案し、リスク評価に資する。



想定：衝突する氷

- 氷山片（bergy bit）を想定する。船のレーダーでは発見しにくいいため。
- 代表長さ $10 \sim \underline{15 \text{ m}}$

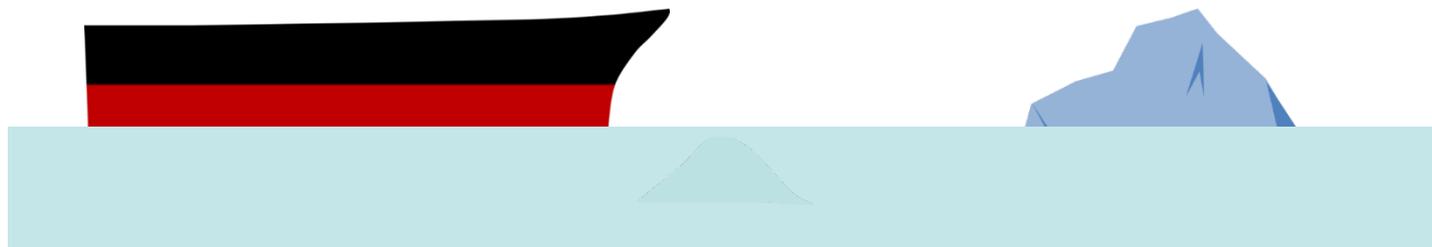


"Bergy bit"
Photo by adactio / CC BY 2.5

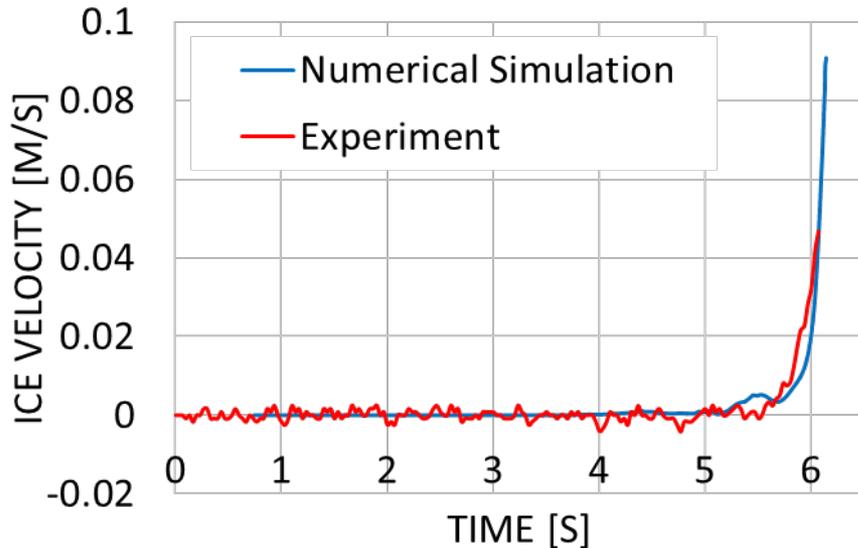
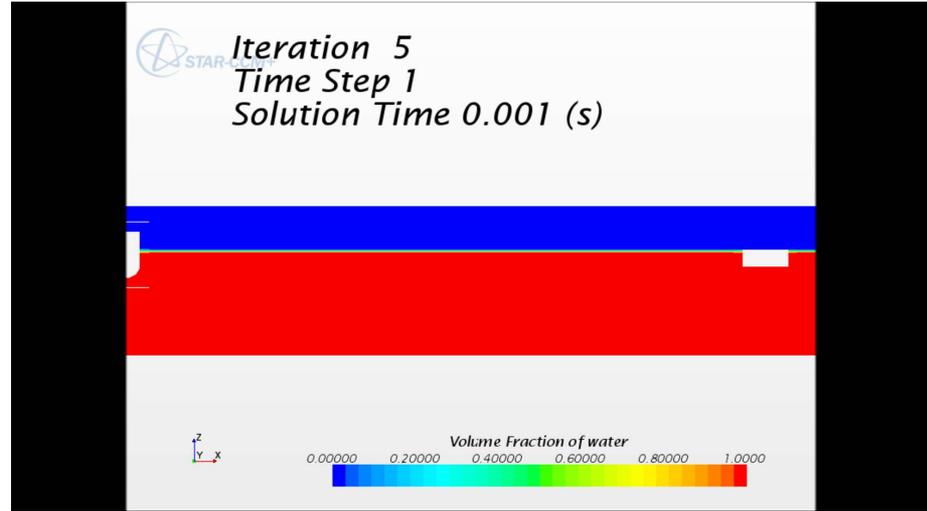
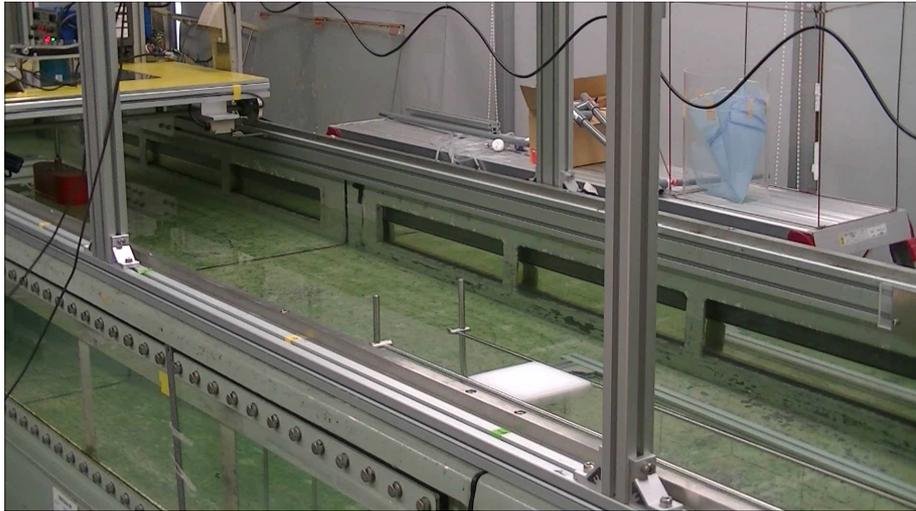
想定：氷山片の衝突前の運動量

- 船が誘起する流れや波により、衝突直前には氷山片も動いている。
- 氷山片の速度を船速の関数として与える。

$$v_i = \alpha v_s$$



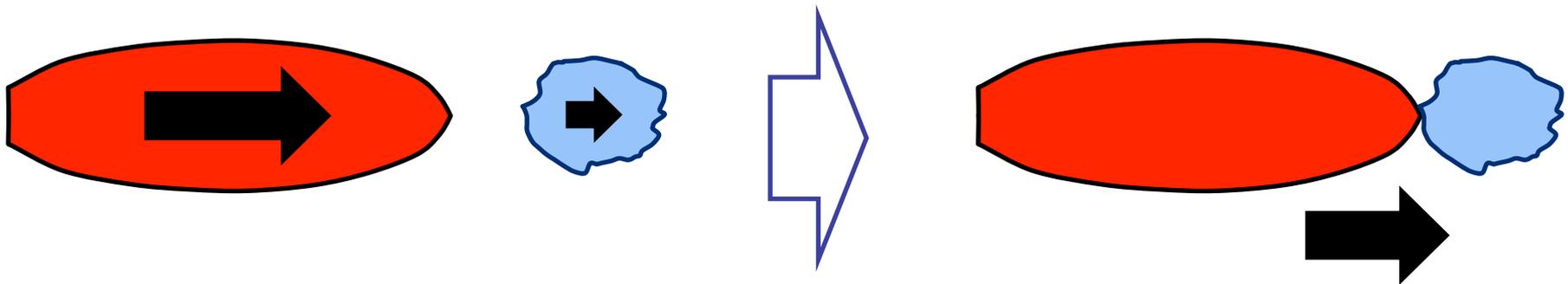
α の推定



- 模型船速: 0.5 m/s
- $\alpha \doteq 0.2$???
- Shighihara, Ishibashi and Konno, POAC'15, 2015.

衝突後の運動量

- 運動量保存則を適用
- (今回は1次元・完全非弾性衝突)
- Konno, ShipArc 2015

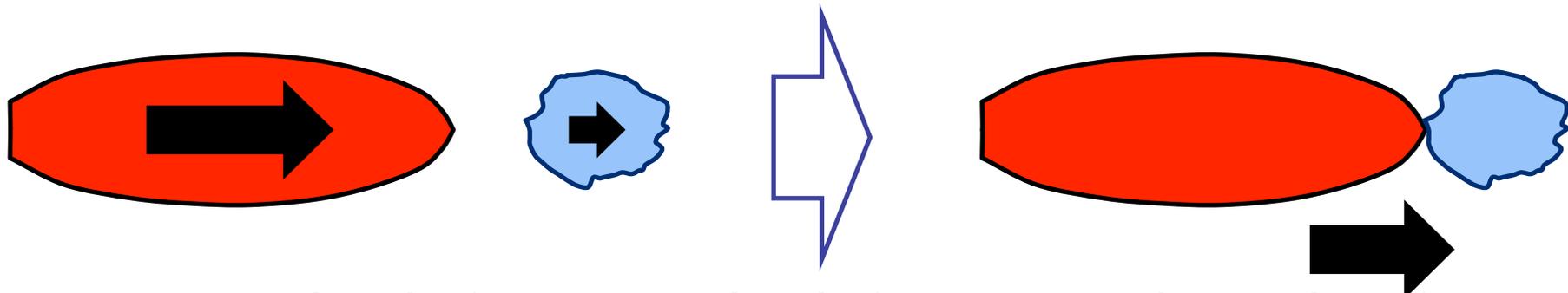


$$m_{\downarrow s} v_{\downarrow s} + m_{\downarrow i} v_{\downarrow i} = (m_{\downarrow s} + m_{\downarrow i}) v$$

$$\leftrightarrow v = m_{\downarrow s} v_{\downarrow s} + m_{\downarrow i} v_{\downarrow i} / m_{\downarrow s} + m_{\downarrow i}$$

衝突時に費やされるエネルギー

- 衝突前後の速度から、エネルギー消費を計算する。(Konno, ShipArc 2015)



$$\Delta E = \frac{1}{2} m_s v_s^2 + \frac{1}{2} m_i v_i^2 - \frac{1}{2} (m_s + m_i) v^2 = \frac{1}{2} m_s v_s^2 + \frac{1}{2} m_i v_i^2 - \frac{1}{2} (m_s + m_i) \left(\frac{m_s v_s + m_i v_i}{m_s + m_i} \right)^2$$

氷荷重の見積もり

- エネルギー消費量と氷荷重の関係：Daley and Kim (2010)のエネルギーベース計算手法を適用する。

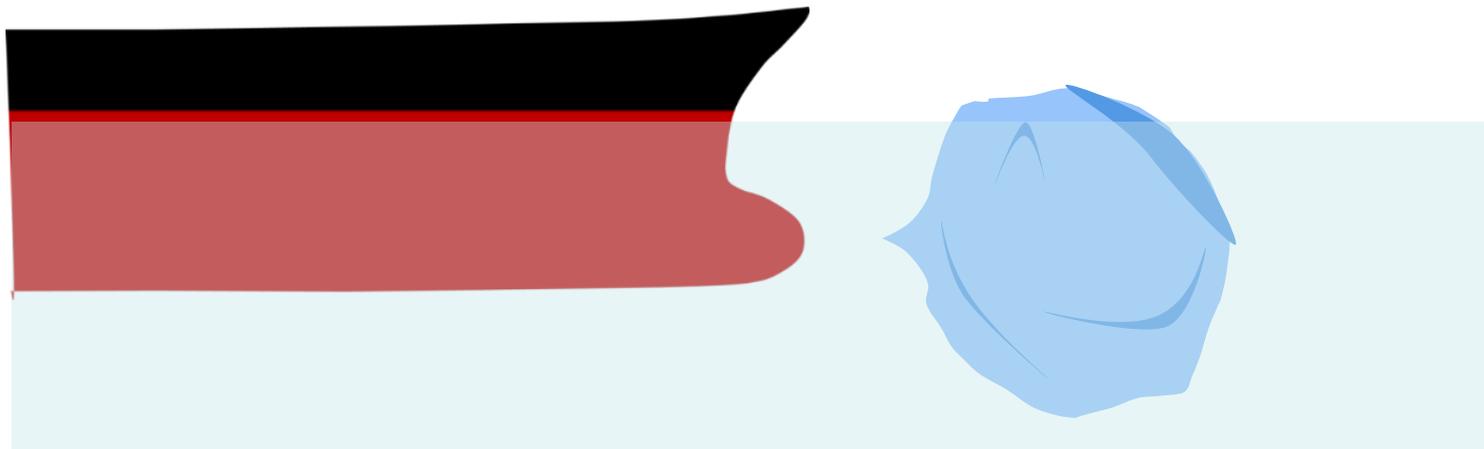
$$F \downarrow n = P \downarrow 0 f \downarrow a \uparrow (1+ex) (\Delta E(d(1+ex)+1) / P \downarrow 0 f \downarrow a \uparrow (1+ex)) \uparrow d(1+ex) / d(1+ex)+1$$

P_0, ex : 氷の破壊特性パラメータ

f_a, d : 氷の衝突点形状パラメータ

計算例

- 船と氷山片の正面衝突
- 氷山片はほぼ球形と仮定（体積は球として計算する）
- ただし衝突点は四角錐形と仮定



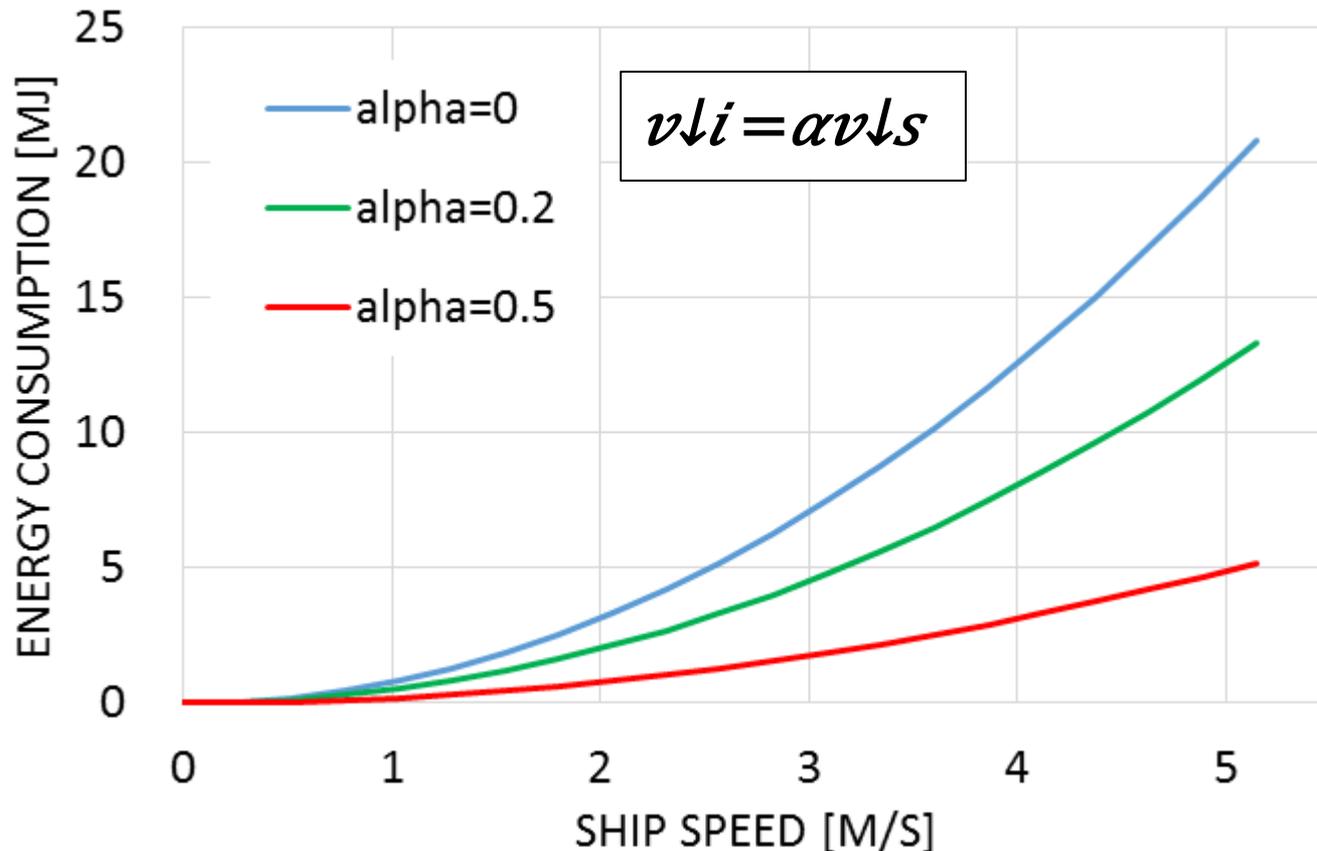
解析条件

Parameter		value	unit
Mass of the ship	M	150	kT
Ice pressure term	P_0	3.0	MPa
Exponent on pressure-area function	ex	-0.1	
Pyramidal angle	ϕ	150	deg.
Representative length of the ice		15	m
Density of the ice	ρ	900	kg/m ³

- 船速（0～10ノット）と氷片速度の係数 α
 （0, 0.2, 0.5）を変えて解析

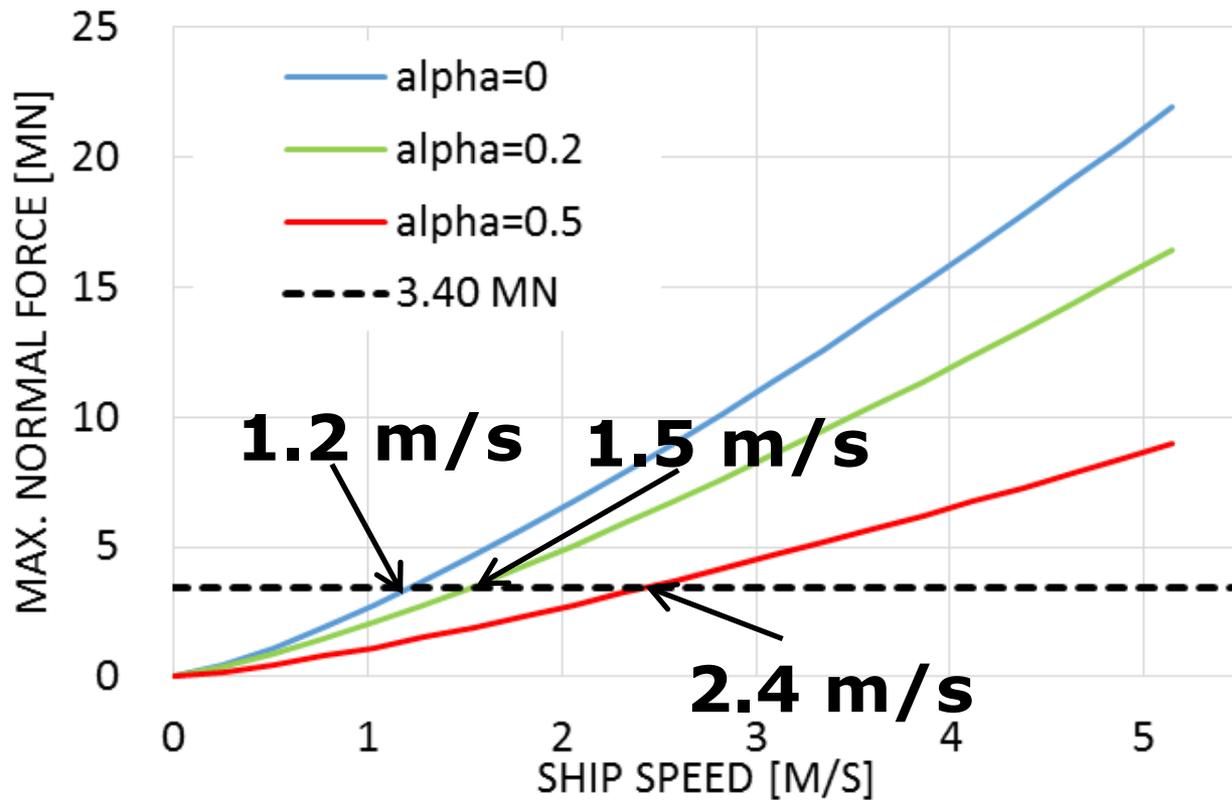
$$v \downarrow i = \alpha v \downarrow s$$

計算結果：エネルギー消費



- エネルギー消費に対する α の影響は大きい。

計算結果：最大荷重



- Daley and Kim (2010)の許容最大船速: 2.5 m/s

まとめ

- 海氷減退期の航行におけるリスク：レーダーでは発見しづらい氷山片との衝突
- 運動量保存則をベースにした氷荷重の推定方法を提案
- 課題：2次元への拡張、実船スケールでの氷片速度の推定

ご清聴ありがとうございました。