

## Worked-out examples: instructional explanation support learning by self explanations

A. Renkl

### 1. Introduction

#### Worked-out examples

- ・ 問題の公式
- ・ 解法ステップ
- ・ 解法そのもの

からなり，数学や物理，コンピュータプログラミングのような領域に有効.

#### Worked-out example の有効性

- ・ 初心者に好まれ，認知スキルの初期獲得に有効
- ・ 問題解決による学習よりも有効(e.g. Sweller & Cooper, 1985)

#### Worked-out example が有効であるためには？

- ・ どのように例が構成されているか(cf. Atkinson et al., 2000)
- ・ 例の学習による効果は，どのように解法やステップを自分自身で説明できるかが重要.

本研究では，2番目の側面について焦点をあて研究を行う.

### 2. The significance of self-explanations in learning from worked-out examples

Chi ら (1989) : Worked-out example の学習の効果は，学習者がどれだけ提示された解法の論理的根拠を自身にうまく説明できるかによって決定される.

→ “self-explanation” 効果と呼ぶ.

#### 成功した学習者の特徴

- (1) Worked-out example の学習により時間をかけていた
- (2) 操作において，状態とゴールについてより頻繁に推敲をしていた.
- (3) 一様に，操作を領域の規則に関連付けていた (principle-based explanation)
- (4) それほど頻繁にはではないが，思い違いもあった

Chi ら(1989)の研究における，成功した学習者と成功しなかった学習者の違い

- ・ 学習時間 (量)
- ・ 自己説明の質 (質)

この結果から Renkl(1997)は学習時間を固定して研究を行う。

結果, 成功した学習者の特徴

- (1) 操作の意味を頻繁に割り当てていた (principle-based explanation)
- (2) 操作によって得られる (サブ) ゴールを同定(explication of goal-operator combinations)
- (3) 調べる前に, 次の解法ステップを予測する傾向がある(anticipative reasoning)
- (4) 少し劣る成功した学習者は, 理解の問題について多く説明しており, 自身の学習の困難さについてメタ認知をしていた(metacognitive monitoring)

(4) については, 外的なサポートが必要である。

この結果からクラスター分析を行った結果

成功した学習者には2つのタイプ

- ・ principle-based explainer (上の1)
- ・ anticipative resoner (上の2)

成功しなかった学習者の2つのタイプ

- ・ passive explainer…とても低いレベルの self-explanation 活動
- ・ superficial explainer…Worked-out example にほとんど時間をかけない

重要な点: ほとんどの学習者が非成功グループであるということ。

→自己説明活動と学習結果の促進が望まれる。

### 3.Fosterring self-explanation and learning outcomes

Renkl(1997)の知見から, 成功した学習者には2つのタイプがある。

その後に行われた, 上記の2つのタイプを誘導する手続きを実験的に検討した研究

研究1. Renkl,Startk,Gruber,and Mandl(1998)

実験群: 自己説明の重要性, どのように自己説明を行うのかを教示, その後 Worked-out example の自己説明を実験者にコーチされる。

最終ステップ: Worked-out example を個人で学習。

統制群: 自己説明のトレーニングの代わりに, 単に発話の練習を行う

結果

- ・ 自己説明活動に強固な効果があった (Renkl, Startk, Gruber, & Mandl, inpress)
- ・ near transfer, far transfer に効果あり

しかし、これらの結果は完全に満足できるものではない。

プロトコル分析において、3つの重大な問題

- (1) 自己説明の要素数は増えたが、質、正確さ共に最適からはほど遠い
- (2) 学習者はどちらかというと、受動的、表面的であった
- (3) 理解不足の人もいた

これより、さらなる教示方法が必要

## 研究2. Stark(1999)

Renkl(1997)をすこし改善し、学習者に次のステップを予測させる環境を構築.

実験群：不完全な例（ブランクあり）

統制群：完全な例

結果

near transfer, medium transfer に効果あり.

far transfer は統計的有意差はないがよいパフォーマンスを示した.

プロトコル分析の結果

不完全な例群は有意に自己説明の質が向上. ただし、理想からは遠い.

理解不足の問題も再びあった.

これらより、学習者の自己説明の質と正確さを改善させることが必要である.

## **4. Self-explanation activity supplemented by instructional explanations: the SEASITE principles**

Worked-out example の結果

学習結果の促進については成功したが、self-explanation の質については満足いくものではない.

→この原因は学習の状況にある

### *4.1 Comparison of self-explanation and instructional explanation*

self-explanation と比較したときの説明的教示の3つの欠点

1. 学習者の先行知識の適合
2. タイミング
3. 生成効果…人間の記憶は提示されたものよりも自分で生成した情報のほうがより記憶している (Lovett,1992)

self-explanation の 3 つの重大な欠点

1. 正確さ
2. 理解の問題…新しい情報に遭遇したとき, しばしば理解のインパスに陥る
3. 理解のモニタリング…頻繁に思い込みなどがおこる

	Self-explanations	Instructional explanations
Adaptation to prior knowledge	YES	Uncertain
Timing	FAVOURABLE	Uncertain
Generation effect	YES	No
Correctness	Uncertain	GIVEN
Solving comprehension problems	Difficult	MEDIUM
Comprehension monitoring	Unfavourable	MEDIUM

Note. Capital letters: More favourable features of self-explanations or instructional explanations respectively.

Fig. 1. Advantages and disadvantages of self-explanations and instructional explanations.

#### 4.2 The SEASITE principles

2つのより一般的な例ベース学習環境における規則と, 4つの説明的教示デザインのガイドライン.

例ベース学習環境における規則

1. できる限りは **self-explanation** で, 必要に応じて説明的教示を
2. フィードバックの提供 (理解のモニタリング)

説明的教示デザイン

1. 学習者の要望による提供
2. 最小限主義…これまでのコンピュータベースヘルプシステム=長く, 冗長
3. 前進的ヘルプ (先行知識の適応)
4. 規則に焦点 (**principle-based explanation**)

#### 4.3 The SEASITE principles and guidelines for online help systems

例ベースの学習における説明的教示の提供: コンピュータベースの学習環境が最適理論的背景

オンラインヘルプの原則(Duffy et al.,1992,Mobus et al., 1992)からなっている.

## 5. Research questions

1. 説明的教示の提供による効果
  - (a) 全体の学習効果は？
  - (b) transfer の距離によって効果は変わるのか？
  - (c) 先行知識の乏しい学習者に対する説明的教示の効果は？
2. 説明的教示はどれくらい学習者に使われるのか？
3. 有効, 非有効の説明パターンはあるのか？

## 6. Methods

### 6.1 Sample and design

48名の教育実習生が参加（平均年齢 23.3 歳，女性 36 名，男性 12 名，謝礼 25 マルク）  
実験群：28名  
統制群：20名

### 6.2 Procedure

個人セッション：2時間

プレテスト, Worked-out example の理解, 確率計算の基礎的な公式の配布  
基本的な概念の理解は規準テストによって測定され, 間違っただけの解答に関しては実験者が共通した説明をおこない, 再度資料を読むようにした。  
これらの手続きののち 45分 Worked-out example による学習  
この間, 発話するように求められる  
その後ポストテスト

### 6.3 Instruments and materials

#### 6.3.1 Pre-test

単純な確率計算問題 9 問

(例. 2回サイコロを振ったとき, 2, 6 と出る確率は?)

#### 6.3.2 Instructional text

教科書は先行研究で用いられたものを使用. (Renkl, 1997)

Worked-out example のための基本的な知識の提供  
公式を含み 700 字程度のもの.

例.

確率の定義  $p(\text{事象}) = n(\text{事象}) / n(\text{全事象})$

乗法定理  $p[A \text{ and } B] = p[A] \cdot p[B]$  加法定理  $p[A \text{ and/or } B] = p[A] + p[B] - p[A \text{ and } B]$

### 6.3.3 Learning environment

コンピュータベースの学習プログラム：Renkl(1997),Startk(1999)を改善したもの.

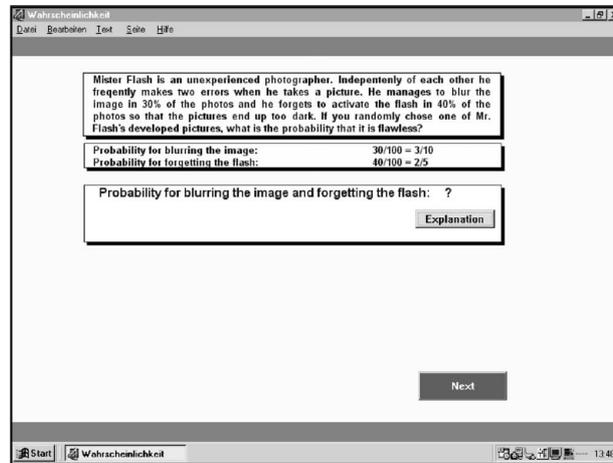


Fig. 2. Example of a page from the learning program for the experimental group.

問題は、4～5ページからなっており、最初のページに問題が提示されており、Next を押しながら進んでいき、問題が終わると次の問題に移る。

初めの4つ：完全な例

その後：学習者は次のステップを計算しなければならないようになっている。

→?が数字の変わりに挿入されているため。

さらにその後、次のページに行くと完全な解法が提示される

→学習者の予測に対するフィードバックが与えられる

学習速度：学習者自身が決定。ただし、時間制限が45分で固定。(事前に教示)

速度の速い学習者が、より広範囲な知識を得るのを防ぐために、問題構造は4つのタイプのみを使用し、これより、学習者は多くの例を学習するが、その例は表層構造(数字, オブジェクト)が異なるだけであり、問題構造は4つのみに固定されている。

実験群：Explanation ボタンがついおり，ボタンを押すことで最小限の説明が提示される  
(図3)

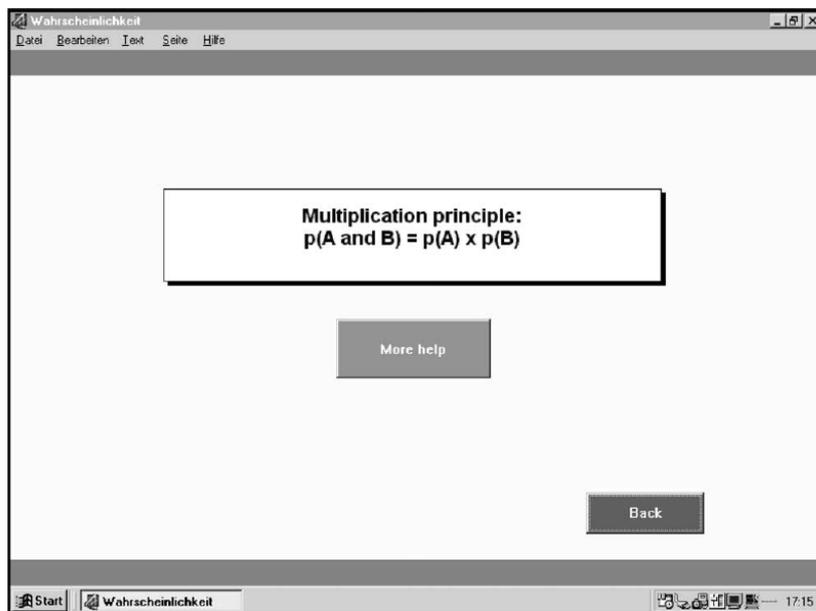


Fig. 3. Example of a first minimalist explanation.

学習者がこれで十分だと考える→Back ボタンで例に戻る  
さらなるサポートがほしい場合→More help ボタンへ (図4へ)

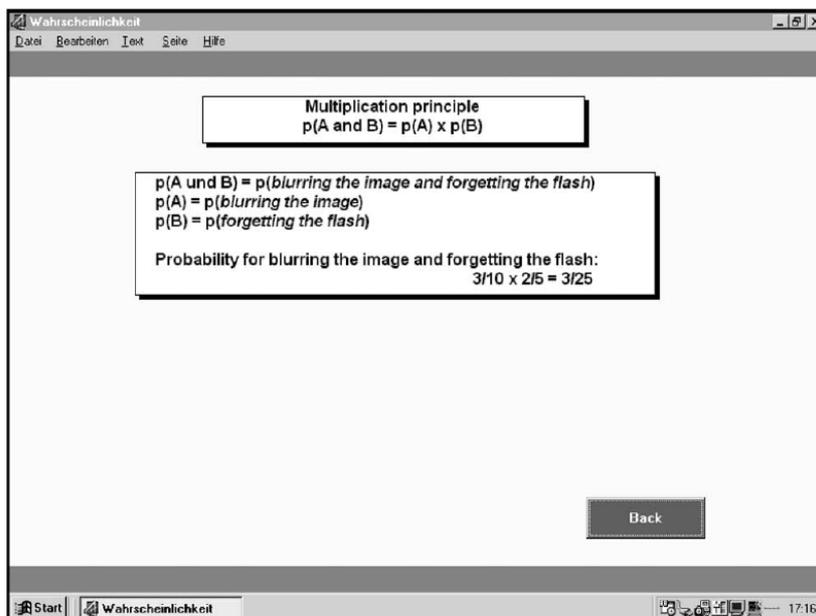


Fig. 4. Examples of a more extensive explanation.

統制群：上のようなサポートを一切うけられない。

### 6.3.4 Analysing the thinking aloud protocols

プロトコルの分析：説明的教示による処理の違い

### 6.3.5 Questionnaire on perceived usefulness of instructional explanations

以下の4つの質問について、説明的教示の有効性を五段階で評定。(1='not true' 5='true')

- (1) 十分に有効だった
- (2) 抽象的すぎた
- (3) 混乱させられた
- (4) 役に立った

ネガティブなものについては、再コーディングし、これらを統合し説明の有効性とした。

### 6.3.6 Post-test

1 3問の確率の問題

1問：簡単な問題（プレテストのものと同様）

残りの1 2問

問題の構造は同じだが、表面的な構造（数、オブジェクト）が異なるもの：4問

表面的な構造は同じだが、問題構造の異なるもの：4問

表面的な構造、問題構造共に異なるもの：4問（ただし、テキストで提示された確率の公式に基づいている）

## 7. Results

### 7.1 The effects of instructional explanations on learning

Table 1

Means and standard deviations (in brackets) of the learning outcomes in the control and the experimental group<sup>a</sup>

	Control group	Experimental group	Effect size ( <i>d</i> )
Post-test (total)	42.50 (21.19)	53.71 (23.30)	0.50
Near transfer	54.50 (26.25)	63.93 (28.85)	0.34
Far transfer	35.00 (20.22)	47.32 (22.85)	0.57

<sup>a</sup> The means correspond to the percentage of points in relation to the theoretical maximum.

先行知識：実験群，統制群に差はなし。  $t(46)=1.52$   $p > 0.10$

ポストテスト：実験群が有意に向上。  $t(46)=1.71$   $p < 0.05$  (片側検定)

Near transfer：両群に差はなし。  $t(46)=1.16$   $p > 0.10$  ※天井効果ではない

Far transfer：実験群が有意に向上。  $t(46)=1.93$   $p < 0.05$

先行知識の乏しい学習者がより説明的教示を使うのかについて、相関分析を行う。

先行知識の乏しい学生は説明的教示を良く使う傾向があり、

(all episodes:  $r=-0.52$ ;  $p < 0.05$ , extended explanations:  $r=-0.04$ ;  $p < 0.05$ )

より広範囲に渡る傾向もある。

(time for all episodes:  $r=-0.31$ ;  $p < 0.05$ ; time spent on extended explanations :  $r=-0.41$ ;  $p < 0.10$ )

ただし、結果との相互作用はなかった。

→先行知識の乏しい学生がより効果があったわけではない。

要約：説明的教示は学習を促進し、効果は先行知識に依存しない。

## 7.2 Use of the instructional explanations

ここからは実験群のみのデータ。

Table 2

The frequency and time of explanation use

Frequency of explanation use		Time of explanation use	
Demand frequency	No. of learners	Reading time (min)	No. of learners
0-2	7	<1	8
3-5	8	<2	6
6-8	3	<3	5
9-11	4	<4	2
12-14	3	<5	4
>14	3	>5	3

説明の使用

- ・ 3名はまったく使用せず、4名は1、2回のみ使用。
- ・ 最大は21回、平均で7.04回であった (SD=5.80)

平均使用時間：147.64秒 (約2分28秒)

より広範囲な説明の使用に限ると

- ・ 使用頻度 2.96 (SD=2.97), おおむね38%のケース
- ・ 平均使用時間は86.5秒 (約1分27秒)

これより、説明的教示は実際に使われていたが、全ての学習者が使用していたわけではなく、約半分の学習者が説明を最小限使っていた。

### 7.3 Patterns of effective and ineffective example use

#### 7.3.1 Determination and characterization of subgroups

実験群においてクラスター分析を行う。

分析対象

- (1) プレテスト
- (2) **far transfer**
- (3) 最小限の説明のみを使用した数
- (4) 最小限の説明に引き続き、より広範囲な説明を読んだ数

分析結果：樹状図は以下のとおり。

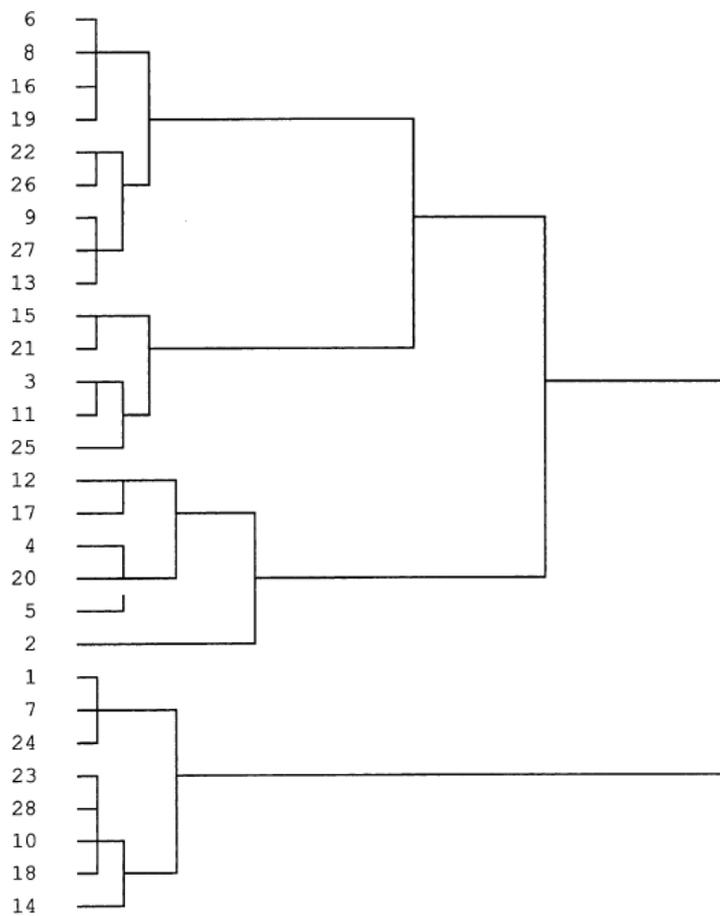


Fig. 5. Cluster analysis: dendrogram.

これより、4つのグループに分類される。

それぞれのグループについて

- クラスタ 1 …”successful rare-users”
- クラスタ 2 …”successful users”
- クラスタ 3 …”mediocre users”
- クラスタ 4 …”unsuccessful rare-users”

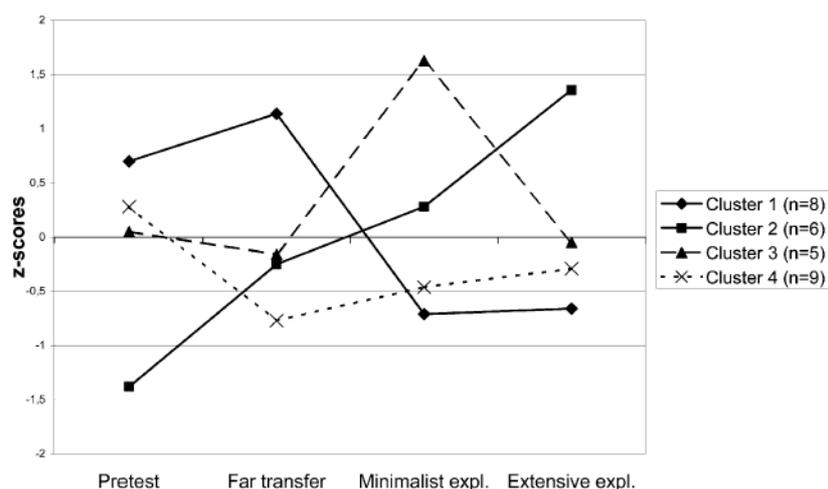


Fig. 6. Profiles of the clusters.

説明的教示の使用頻度はほぼ同様だが、成功したものと平均的な人（クラスタ 2 と 3）がいた

→興味深い点. 以後これについて検討

Table 3

Comparison of successful users and mediocre users with respect to the use of the instructional explanations: means and standard deviations (in brackets)

	Mediocre users	Successful users	<i>d</i>	<i>t</i> -test
No. of explanations	14.20 (4.09)	12.33 (3.88)	-0.47	-0.78 n.s.
Read pages	78.20 (25.77)	65.33 (9.48)	-0.66	-1.06 <sup>b</sup> n.s.
Explanations per opportunity	30.95 (17.91)	28.79 (10.58)	-0.15	-0.25 n.s.
Minimalist explanations	11.40 (3.21)	5.33 (3.67)	-1.75	not sensible <sup>a</sup>
More extensive explanations	2.80 (2.59)	7.00 (3.29)	1.42	not sensible <sup>a</sup>
Usefulness of explanations	4.40 (0.29)	4.33 (0.44)	-0.19	-0.30 n.s.
Reading time per explanation	12.61 (6.17)	20.69 (3.06)	1.66	2.84*
Reading time per minimalist explanation	8.59 (3.44)	7.41 (2.21)	-0.41	-0.41 n.s.
Reading time per more extensive explanation	17.81 (9.11)	25.68 (9.43)	0.85	1.31 n.s. <sup>c</sup>

\*  $p < 0.05$ .

<sup>a</sup> No sensible null hypothesis can be postulated because these variables were used to determine disparate clusters.

<sup>b</sup> *t*-test for inhomogeneous variances,  $df=4.80$ .

<sup>c</sup>  $n=4$  instead of 5 in the groups of mediocre users because one person did not use any more extensive explanation.

### 7.3.2 Successful users and mediocre users: perceived usefulness of the instructional explanations

説明的教示の有効性の評定：両群に差はなし。

### 7.3.3 Successful users and mediocre users: reading time per explanation

説明を読んでいた時間：成功群が有意に多い。

ただし、最小限の説明、より広範囲な説明それぞれにおいてでは差はなし。

統計的差はないが、より広範囲な説明を長時間読んでいた。

### 7.3.4 Successful users and mediocre users: qualitative aspects of the explanation

プロトコル分析の結果：説明的教示に割り当てられる発話はほんのわずかであった  
典型的なプロトコルのタイプ

- (1) 絶対的な沈黙
- (2) 沈黙または、短い発話 (例. 「乗法定理, OK」)
- (3) 自分についての発話, その後沈黙 (例. 「ええと... <沈黙>」)
- (4) 説明的教示の断片的な発話 (例. 「<沈黙>... 全体の確立... <沈黙>」)

発話プロトコルは、例の学習における自己説明の解析法としてとても有効な手段であるが、(Chi et al., 1989; Renkl, 1997; Stark, 1999) 説明的教示の処理の解析には多かれ少なかれ、役に立たなかった。

これは、以下のような点から、ワーキングメモリが占領されていたと考えられる

- (1) 問題の公式の表象
- (2) サブゴールと対応する操作の表象
- (3) 説明を求める理解不足 (不確かさ) の表象
- (4) 説明的教示の表象
- (5) 説明と関係をもつ情報処理

## 8. Discussion

### 8.1 Provision of learner demand and the problem of infrequent explanation use

説明が頻繁に使われることは無かったが、学習を促進することができた。

より頻繁な例の使用のためには、コンピュータプログラムによる、学習者の理解の不足を判定することが必要だろう。

→学習者がすでに決定した項についての判定。

まちがっていたら最小限の説明、さらにまちがっていたらより広範囲な説明へ

## 8.2 Qualitative aspects of explanation use

わずかな発話・・・説明の処理における認知負荷が（非常に）大きい

認知負荷の観点から、今回提示された例は不必要な認知負荷を負わせていたのだろう

（例は、別のページで提示（図2-4））

今回の環境においては、例の問題公式、操作とゴールを保持ワーキングメモリに保持する必要があり、最小限の説明を例にマップすることを困難にしていたのだろう。

マッピングの促進の可能性：統合フォーマット(cf. Sweller et al., 1998)

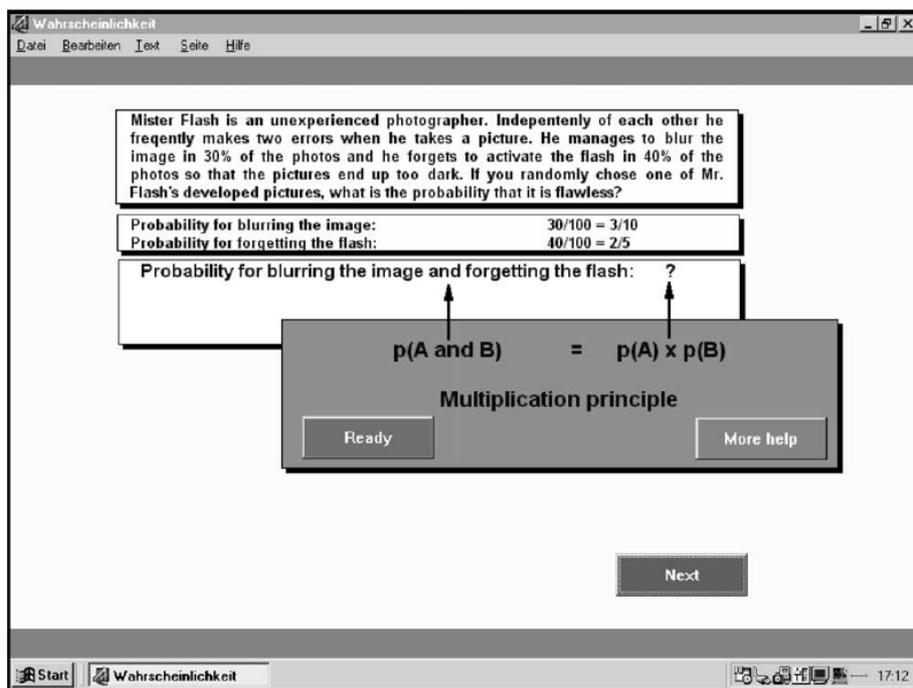


Fig. 7. Minimalist explanation in an integrated format.

現在、この仮定について実験を行っている。

## 8.3 Revision of the SEASITE principles?

これまでの結果からの SEASITE 規則の2つの修正

- (1) 学習者の要望に応じた提供→理解不足を示したときに提供に置き換え
- (2) 統合フォーマットの追加

## 8.4 Relevance of the findings to the design of explanations in general

今回の実験における例：最小限のものより広範囲なもの。

最小限の説明

一般的な説明：“なぜなら”，“ゆえに”という項目を含む。

直感的に“本当”の説明とは言えず，‘半分’の説明である。

より広範囲な説明

‘本当’の説明とみなせる：ルールとケースの関連性を示している

これより，科学的な意味からは“本当”の説明と見ることができるが，教育場面における日常的な説明とは異なる．本研究の結果は，慎重に一般化しなければならない．

### *8.5 Conclusion*

本研究においては，例ベースの学習における説明的教示の提供の重要な問題について扱った．SEASITE 規則に基づいての実験の結果は，いくつかの好結果がえられたが，決して満足できるものではない．また，説明使用の解析から，さらに好成績を得るための提案をおこなった．これらの提案における結果は今後の課題である．